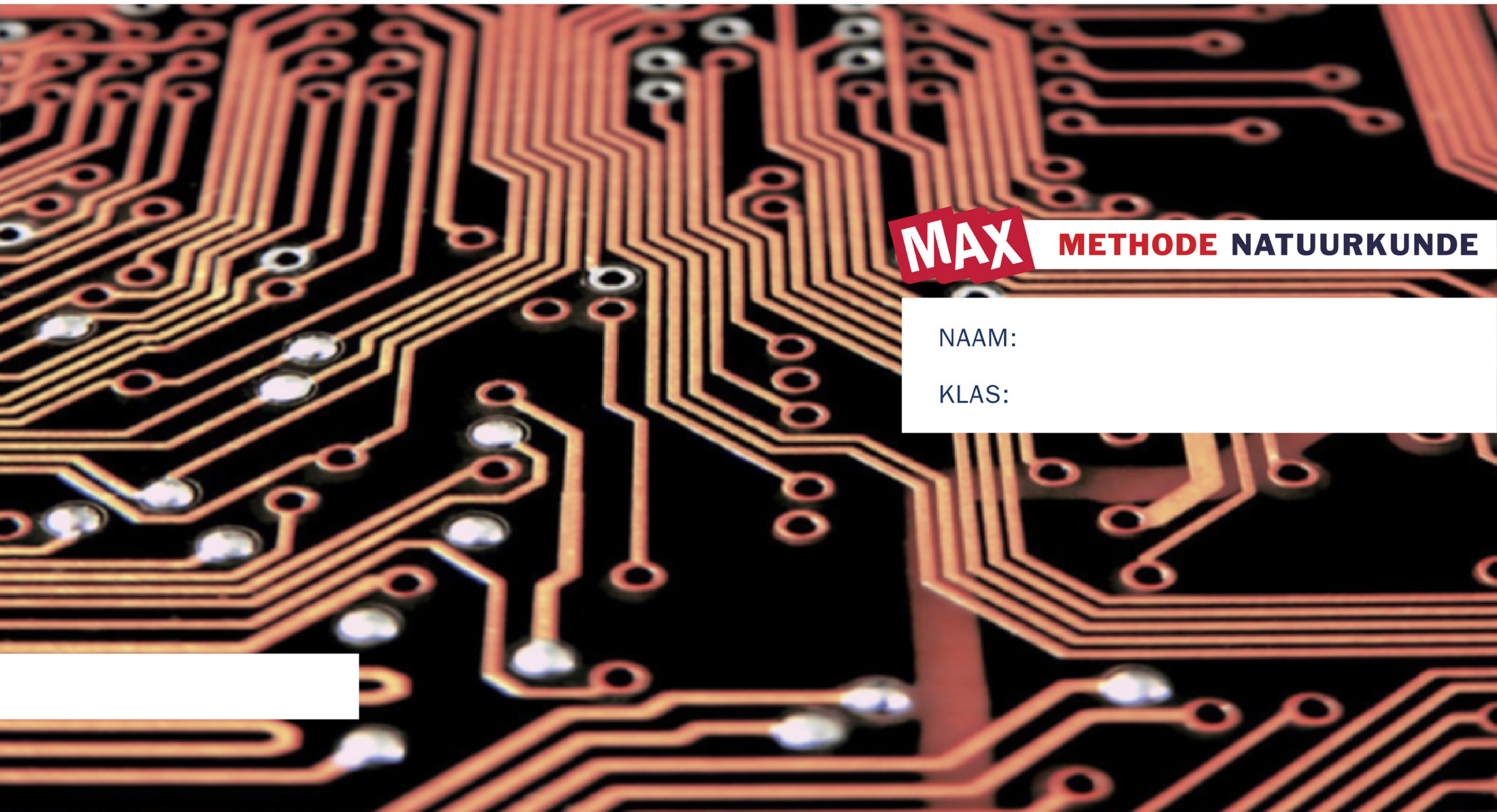


# NOVA

3

HAVO
LEEROPDRACHTENBOEK

NATUURKUNDE



MAX METHODE NATUURKUNDE

NAAM:

KLAS:

# NOVA

## NATUURKUNDE

## 3 HAVO


**Auteurs**

L. Lenders

F. Molin

R. Tromp

**Met medewerking van**

Th. Smits



Vierde editie

MALMBERG 's-Hertogenbosch

www.nova-malmberg.nl

# Voorwoord

*Nova* bestaat uit een leeropdrachtenboek, digitaal materiaal en een uitwerkingenboek.

In het leeropdrachtenboek vind je alle leerstof die je moet leren. Na elke paragraaf staan opgaven die je helpen om de leerstof te onthouden en toe te passen. De opgaven zijn opgesplitst in leerstofvragen, die vaak letterlijk in de theorie staan, en toepassingsvragen. Sommige opgaven zijn met een * gemerkt. Die zijn in het algemeen iets moeilijker.

Elk hoofdstuk wordt afgesloten met een aantal proeven (practica) en Test-Jezelf-vragen. Bovendien wordt achter in het boek uitgelegd welke vaardigheden je bij het vak nodig hebt.

Met de V-trainer in het digitale materiaal kun je vaardigheden oefenen.

**Basisstof, Plusstof en Praktijk**
De meeste leerstof in het boek werk je samen met de hele klas door. Dit is de basisstof die alle leerlingen moeten kennen.

Aan het einde van elke paragraaf staat Plusstof. Daarmee ga je aan het werk als je klaar bent met de basisstof en nog tijd over hebt. Meestal is de Plusstof iets moeilijker dan de basisstof.

Aan het einde van elk hoofdstuk staat praktijk: een artikel waarin een deel van de leerstof in een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap wordt besproken. Daarbij staan ook enkele opgaven.

**Zelfstandig werken**
Met *Nova* kun je goed zelfstandig werken. Je kunt alleen of met een groepje opgaven maken, onderzoek doen of jezelf overhoren met de Test-Jezelf-pagina's. Je zult ook af en toe uitleg krijgen met de hele klas.

Als je zelfstandig werkt, is het handig om een planning te maken.

We hopen dat je met plezier met dit boek en met de andere onderdelen van de methode zult werken.

Veel succes!

De auteurs

# Inhoudsopgave

## 5 Kracht en beweging | Veilig verkeer

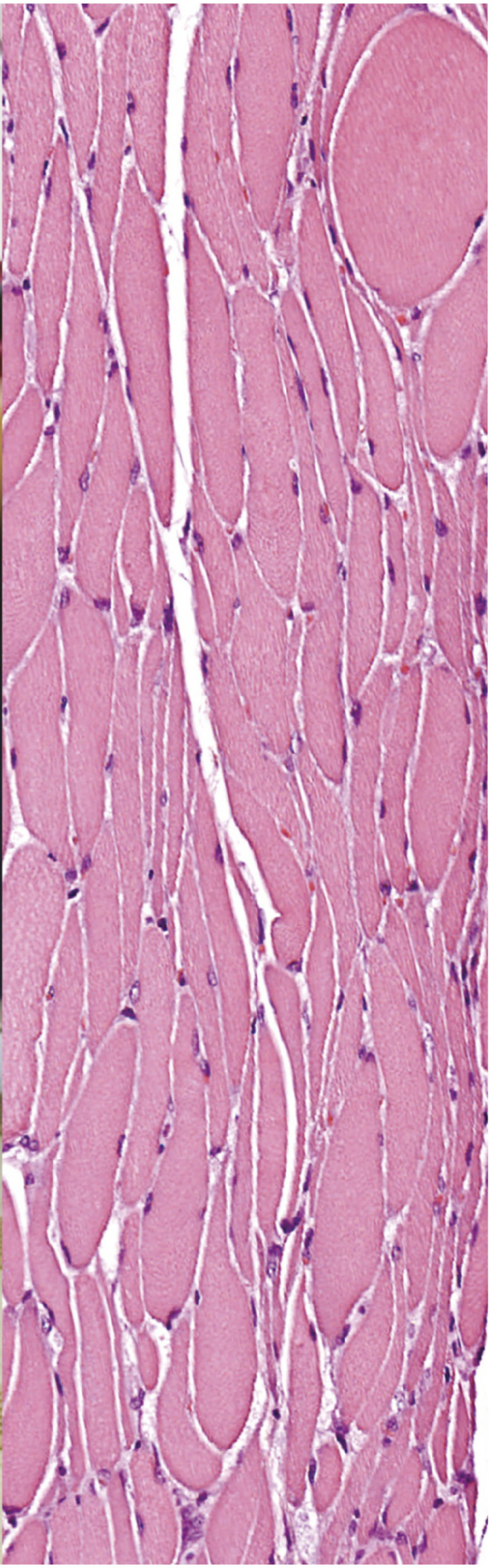


## 6 Schakelingen | Automatisch regelen



## 7 Radioactiviteit | Werken met ioniserende straling





# 1 Krachten

## Krachten in natuur en techniek

**Krachten spelen een belangrijke rol in je leven. Of je nu een trap oploopt, een hap uit een appel neemt of alleen maar ademhaalt: je spieren moeten er krachten voor uitoefenen. En als je spierkracht niet groot genoeg is, gebruik je een werktuig om je spierkracht te vergroten.**

# 1 Krachten om je heen



▲ figuur 1
een elastische vervorming

**Bij alles wat je doet, spelen krachten een rol. Of je nu een voetbal wegschopt, een kraan opendraait, een toets indrukt of een hap brood neemt: je spieren moeten er een kracht voor uitoefenen.**

## Krachten herkennen

Als er een kracht op je lichaam wordt uitgeoefend, kun je dat vaak voelen. Bijvoorbeeld als iemand je een duw geeft of als het stevig waait. Krachten die op andere mensen (of op voorwerpen) worden uitgeoefend, kun jij niet zien of voelen. Je kunt alleen zien welk effect die krachten hebben.

Krachten kunnen de **beweging** van een voorwerp veranderen. Bij een volleybalwedstrijd gebeurt dat voortdurend. De snelheid van de bal neemt toe als een speler de bal smasht. De snelheid neemt af als een speler een harde bal ‘stopt’. De richting van de bal verandert als de spelers tegen de bal tikken of slaan.

Krachten kunnen de **vorm** van een voorwerp veranderen. Dat zie je als een boogschutter zijn boog spant of als een turnster na een salto weer neerkomt op de trampoline. Bij balsporten vervormt de bal bij elk balcontact, al is dat met het blote oog moeilijk te zien (figuur 1).

Een vervorming kan **elastisch** of **plastisch** zijn. Bij een elastische vervorming komt de oorspronkelijke vorm van het voorwerp weer terug, als de kracht ophoudt te werken. Dat zie je bijvoorbeeld bij een matras of een fietsband. Bij een plastische vervorming wordt het voorwerp blijvend vervormd.

## Soorten krachten

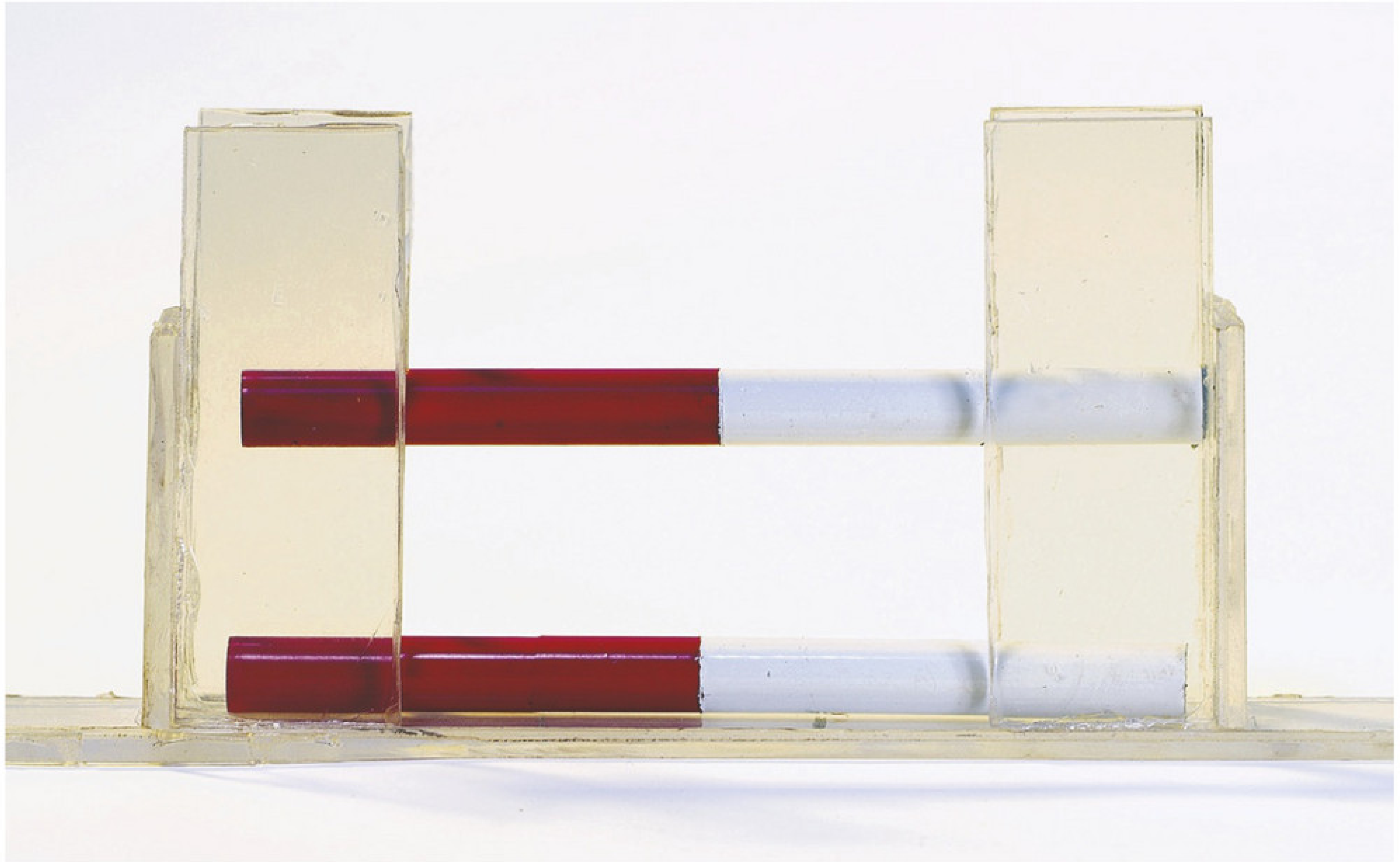
Er zijn allerlei verschillende soorten krachten, zoals de spierkracht, de veerkracht, de zwaartekracht en magnetische krachten.

- Als je een softbal weggooit, oefent je hand een kracht uit op de bal. Als je fietst, oefenen je voeten een kracht uit op de pedalen. In beide gevallen gebruik je je **spierkracht**. De spierkracht ontstaat doordat de spieren in je lichaam zich samentrekken.
- Als je een expander uitrekt, voel je de spiraalveren aan je handen trekken (figuur 2). Deze kracht noem je **veerkracht**. Veerkracht ontstaat als je een veerkrachtig materiaal uitrekt of indrukt. De veerkracht verdwijnt weer als het materiaal zijn oude vorm terugkrijgt.

▼ figuur 2
Met een expander voel je de veerkracht.



- Als je een halter optilt, voel je hoe zwaar de gewichten zijn. Als je de halter daarna weer loslaat, valt hij recht naar beneden. Dat is het effect van de **zwaartekracht**. De zwaartekracht is de kracht waarmee de aarde aan jou trekt en aan alles om je heen.
- Als je twee staafmagneten bij elkaar houdt, voel je dat er tussen de polen (uiteinden) **magnetische krachten** werken. Een noordpool en een zuidpool trekken elkaar aan, maar twee noordpolen stoten elkaar af, net als twee zuidpolen. Die afstoting verklaart waarom de bovenste magneet in figuur 3 zweven blijft.



▶ **figuur 3**
De twee magneten stoten elkaar af.

## Krachten meten

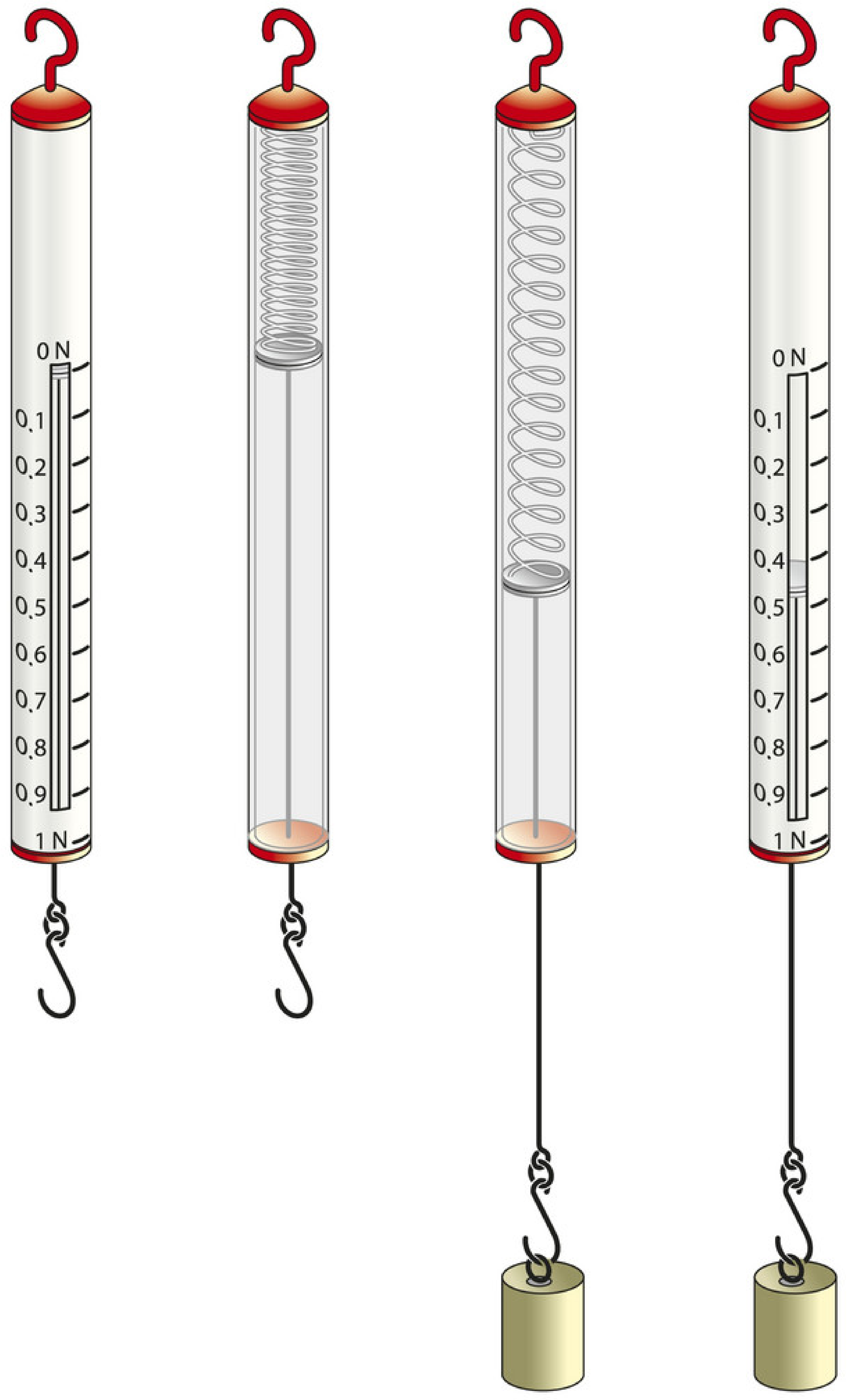
Krachten kun je meten met een **krachtmeter**. In zo'n krachtmeter zit een spiraalveer. Hoe groter de kracht waarmee aan de krachtmeter getrokken wordt, des te verder rekt de veer uit (figuur 4). Voor het meten van grote krachten gebruik je een krachtmeter met een stugge veer. Voor het meten van kleine krachten gebruik je een krachtmeter met een soepele veer.

Op een krachtmeter staat een schaalverdeling in newton. De newton (N) is de eenheid waarin alle krachten gemeten worden: van de aantrekkingskracht tussen twee magneten tot de zwaartekracht op het aardoppervlak. Deze eenheid is genoemd naar de Engelse natuurkundige Isaac Newton (1642–1727).

Op aarde is er een eenvoudig verband tussen de zwaartekracht en de massa van een voorwerp. Om de zwaartekracht op een voorwerp te vinden (in N), moet je de massa (in kg) vermenigvuldigen met 9,8. Je kunt deze rekenregel ook schrijven in letters:

$$F_z = m \cdot g$$

In deze formule is $F_z$ de zwaartekracht, $m$ de massa van het voorwerp en $g$ de sterkte van de zwaartekracht. Op aarde heeft $g$ de waarde 9,8 N/kg, waar je ook bent.




▲ **figuur 4**
Zo werkt een krachtmeter.

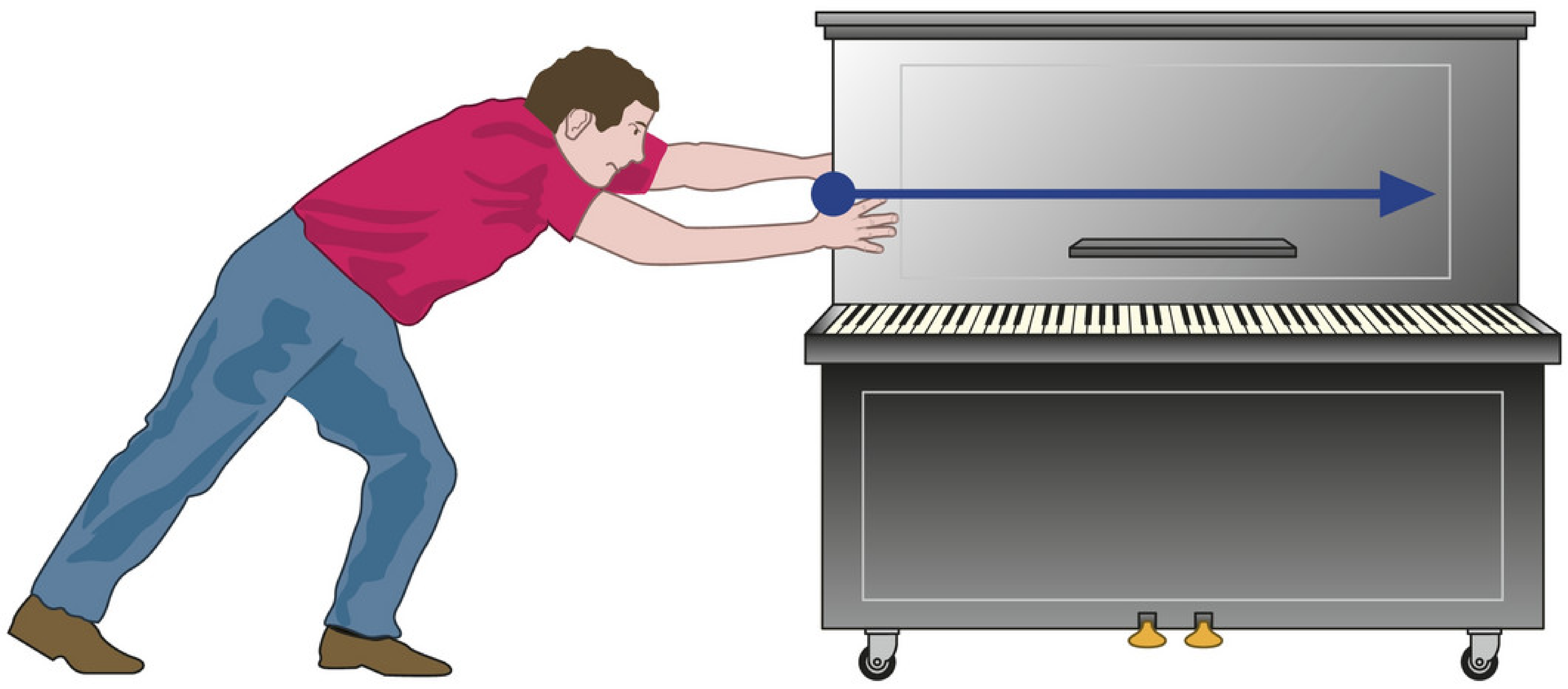
### Krachten tekenen

Een kracht heeft een grootte, een richting en een aangrijpingspunt. Een grootheid met deze eigenschappen wordt een **vector** genoemd. Een vector wordt getekend als een pijl. Dat geldt ook voor krachten.

- De lengte van de pijl geeft de grootte van de kracht aan.
- De richting van de pijl geeft de richting van de kracht aan.
- Het beginpunt van de pijl geeft het aangrijpingspunt aan.

Als je een kracht gaat tekenen, kies je eerst een **krachtenschaal**. Bijvoorbeeld: 1 cm ≙ 5 N. Dat betekent dat een pijl met een lengte van 1 cm een kracht van 5 N voorstelt. Een kracht van 15 N teken je op deze schaal als een pijl van 3 cm.

Denk er altijd goed over na waar je de pijl laat beginnen. Als je in de tekening van figuur 5 de spierkracht wilt tekenen, moet de pijl beginnen op de plaats waar de handen tegen de piano duwen: daar ligt het aangrijpingspunt.



▲ **figuur 5**
de spierkracht op een piano

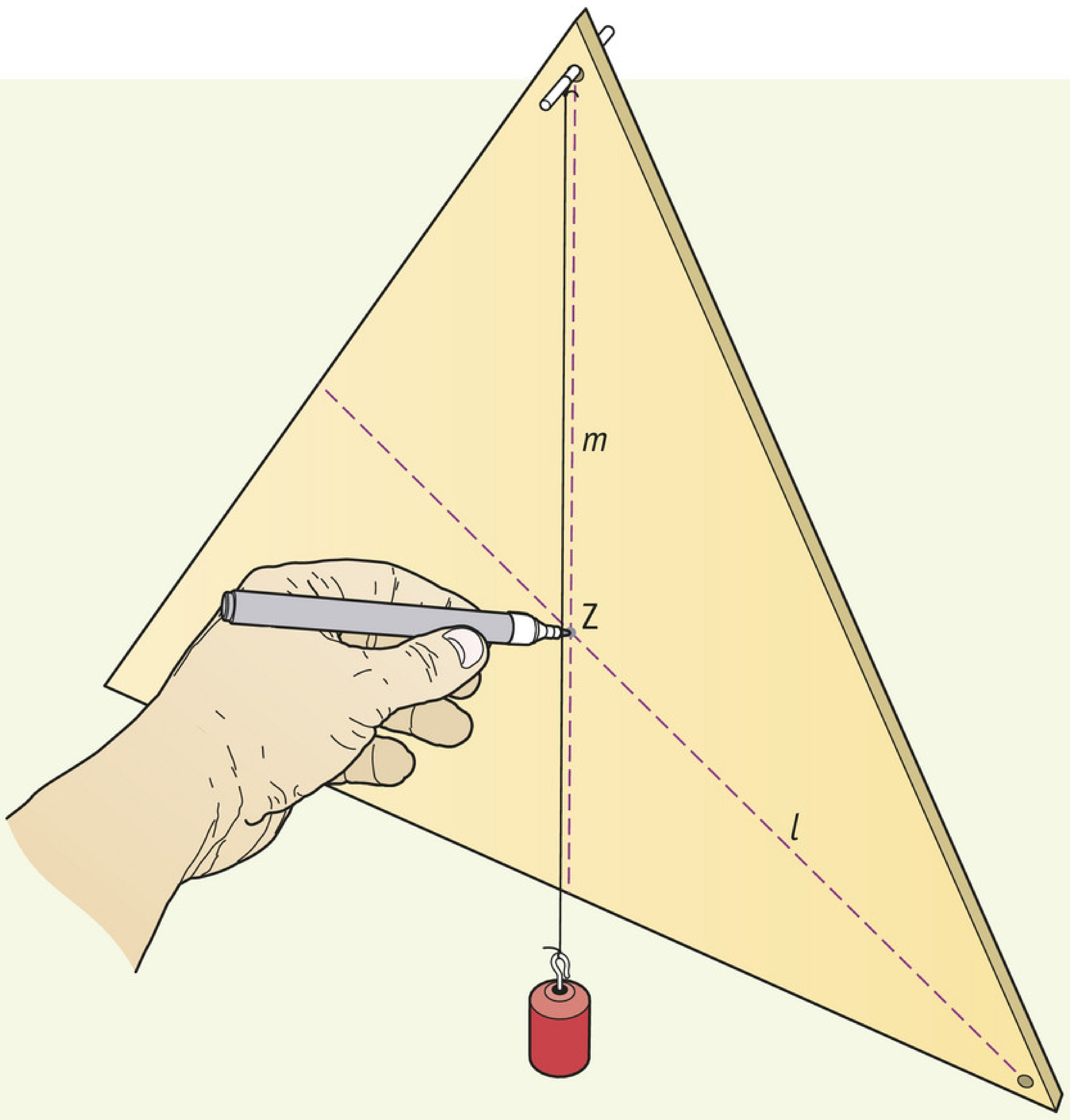
De zwaartekracht werkt op alle punten van een voorwerp. Je zou dus eigenlijk overal in het voorwerp kleine vectoren moeten tekenen. Als vereenvoudiging kies je echter één punt, het **zwaartepunt** Z, in het midden van het voorwerp.

## Plus Het zwaartepunt

Elk voorwerp heeft een zwaartepunt. Dit is een (denkbeeldig) punt waar je de zwaartekracht kunt laten ‘aangrijpen’. Als het zwaartepunt van het voorwerp boven het steunvlak ligt, is het voorwerp in evenwicht. Als het zwaartepunt zich niet boven het steunvlak bevindt, zal het voorwerp gaan kantelen.

Je kunt de plaats van het zwaartepunt als volgt bepalen:

- Hang het voorwerp op. Teken vanuit het ophangpunt met behulp van een gewicht aan een touwtje een lijn *l* recht naar beneden.
- Hang het voorwerp aan een ander ophangpunt op. Teken vanuit dit tweede ophangpunt een lijn *m* recht naar beneden.
- De lijnen *l* en *m* snijden elkaar in Z. Z is het zwaartepunt (figuur 6).




▶ **figuur 6**
Zo bepaal je het zwaartepunt.

Dat Z echt het zwaartepunt is, kun je controleren door het voorwerp op je vinger te laten balanceren. Als het voorwerp in evenwicht is, moet je vinger zich precies onder Z bevinden (figuur 7).



▶ **figuur 7**
Een tennisser demonstreert waar het zwaartepunt van zijn tennisracket zit.

## opgaven Leerstof

**1** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Waaraan kun je zien dat er een kracht op een voorwerp wordt uitgeoefend?

**b** Wat is het verschil tussen een elastische en een plastische vervorming?

**c** Hoe groot is de zwaartekracht op een voorwerp met een massa van 1 kg?

**d** Wat wordt bedoeld met ‘het aangrijpingspunt van een kracht’? Leg uit.

**2** Een kracht kun je tekenen als een pijl.
- **a** Wat geeft de richting van de pijl aan?
- **b** Wat geeft de stip aan het begin van de pijl aan?
- **c** Wat geeft de lengte van de pijl aan?

## Toepassing

**3** Bekijk de foto's in figuur 8.
Waaraan kun je zien dat er een kracht werkt of gewerkt heeft:
- **a** op het elastiek?
- **b** op de polsstok?
- **c** op de auto?

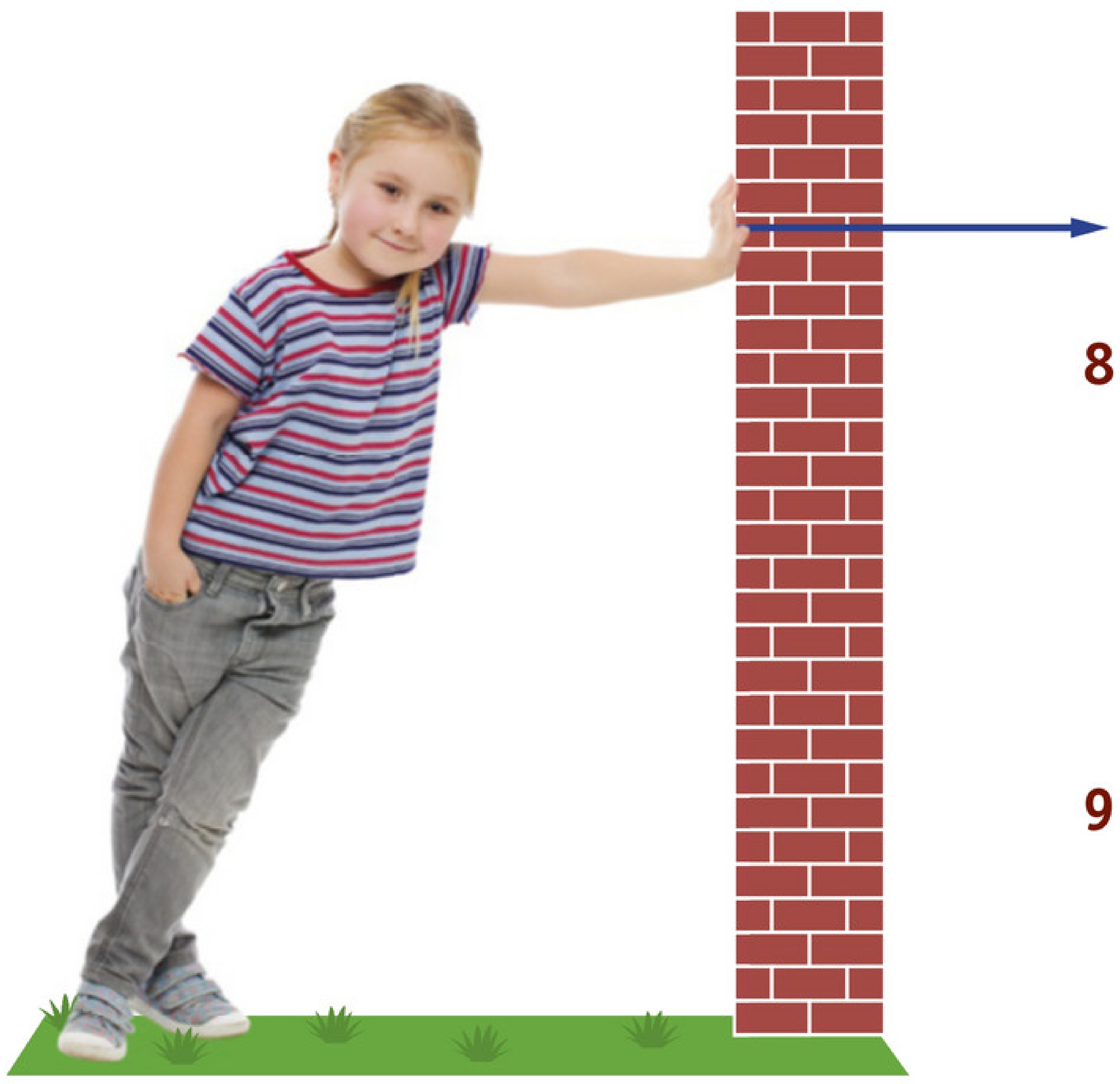


▲ **figuur 8**
Welk effect hebben krachten?

**4** Schrijf voor elk van de volgende situaties op:
- – of de vervorming elastisch of plastisch is;
- – hoe de kracht heet die de vervorming veroorzaakt.
- **a** Marie ploft neer op een lekker zachte tweezitsbank.
- **b** Een hond zakt weg in de pas gevallen sneeuw.
- **c** Een loodgieter maakt een bocht in een koperen buis.
- **d** Een dunne tak buigt door als er een poes op zit.

**5** Bekijk de foto van het elastiek in figuur 8a nog eens.
Hoe heet de kracht:
- **a** die ervoor zorgt dat het elastiek een flink eind uitrekt?
- **b** die het elastiek op de handen van de jongen uitoefent?

**6** Bij deze opgave heb je werkblad 1-1 nodig.
Teken op het werkblad de volgende krachten in. Neem als krachtenschaal 1 cm ≙ 100 N.
- **a** de kracht van 400 N waarmee Jaap-Jan aan het touw trekt
- **b** de kracht van 450 N waarmee Thea's voet op de balk drukt
- **c** de kracht van 500 N waarmee de aarde aan Marjolein trekt
- **d** de twee krachten van 150 N die de expander op Pim uitoefent



▲ figuur 9
de kracht van de hand op de muur

**7** In figuur 9 is de kracht getekend die Sophie met haar hand op de muur uitoefent.
Welke krachtenschaal heeft de tekenaar gebruikt:
**a** als de kracht op de muur 46 N is?
**b** als de kracht op de muur 69 N is?

**8** Bereken hoe groot de zwaartekracht is:
**a** op een emmer strooizout van 10 kg.
**b** op een zak hondenvoer van 1,5 kg.
**c** op een doos bonbons van 250 g.
**d** op een reep chocolade van 45 g.

**9** Bij deze opgave heb je werkblad 1-2 nodig.
Op het werkblad zie je twee turners die een strijd tegen de zwaartekracht voeren.
**a** Bereken hoe groot de zwaartekracht is:
- op Elise.
- op Iwan.

**b** Teken in elke tekening de zwaartekracht als een pijl.
Gebruik als krachtenschaal 1 cm ≙ 100 N.

## Plus Het zwaartepunt

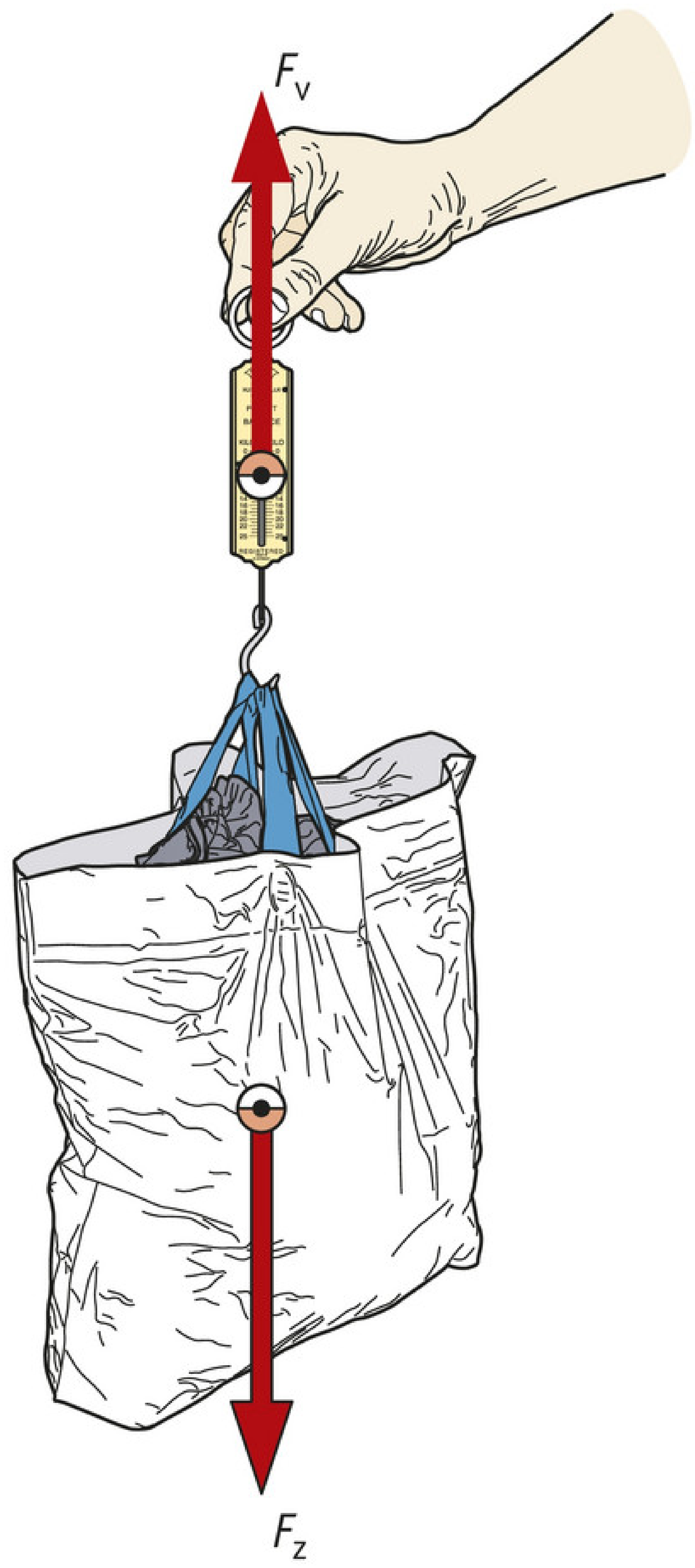
**10** Bij deze opgave heb je werkblad 1-3 nodig.
Een doos steekt een eind buiten de tafel uit. Toch valt de doos niet van de tafel.
**a** Geef op het werkblad met rood aan wat het steunvlak van de doos is.
**b** Kleur op het werkblad het deel van de doos waar zich het zwaartepunt bevindt, blauw.
**c** Hoe zou je ervoor kunnen zorgen dat het zwaartepunt zich in dit deel van de doos bevindt?

***11** Jara staat stil op één been (figuur 10).
**a** Wat is het steunvlak in de situatie van figuur 10?
**b** Wat weet je dus over het zwaartepunt van Jara's lichaam?
**c** Jara laat haar bovenlichaam nog verder naar rechts overhellen.
Hoe komt het dat ze dan haar evenwicht dreigt te verliezen? Gebruik het woord 'zwaartepunt' in je uitleg.
**d** Wat kan Jara doen om in haar nieuwe houding het evenwicht te herstellen?



◀ figuur 10
Als je op één been staat, is het moeilijker om je evenwicht te bewaren.

# 2 Krachten in evenwicht




▲ **figuur 11**
zwaartekracht en veerkracht

**Bij een wedstrijd touwtrekken kunnen de strijdende partijen elkaar lang in evenwicht houden. Ook al trekken de deelnemers zo hard ze kunnen, toch komt het touw niet in beweging. Zolang de krachten naar links even groot zijn als de krachten naar rechts, verandert er niets.**

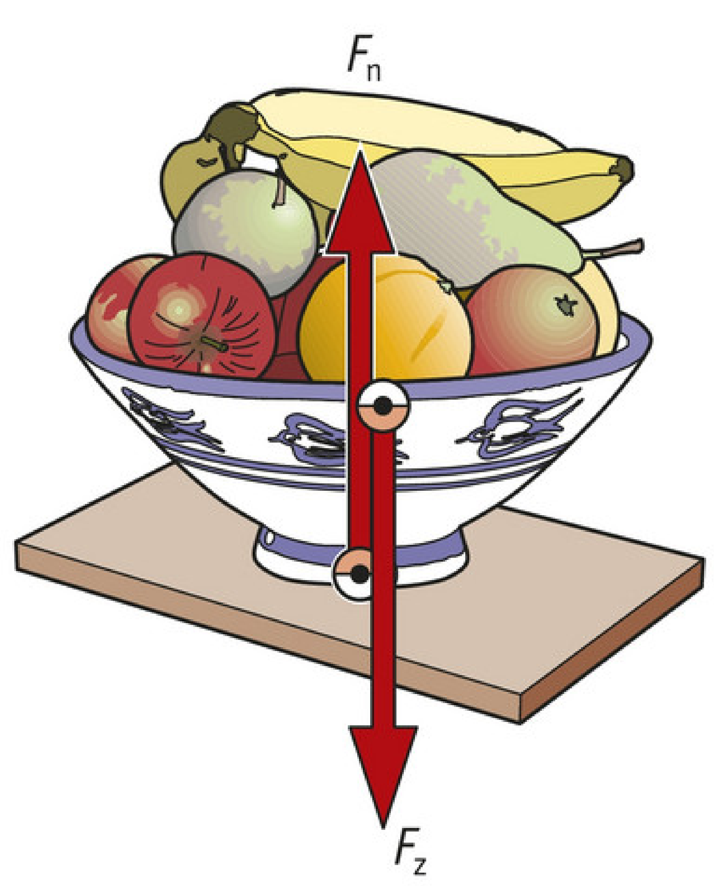
## Twee krachten in evenwicht

In figuur 11 zie je een zak aardappels die aan een krachtmeter hangt. Op de zak werken twee krachten: de zwaartekracht $F_z$ en de veerkracht $F_v$. De letter $F$ (van het Engelse *force*) is het natuurkundige symbool voor kracht. De zwaartekracht werkt naar beneden, de veerkracht werkt omhoog.

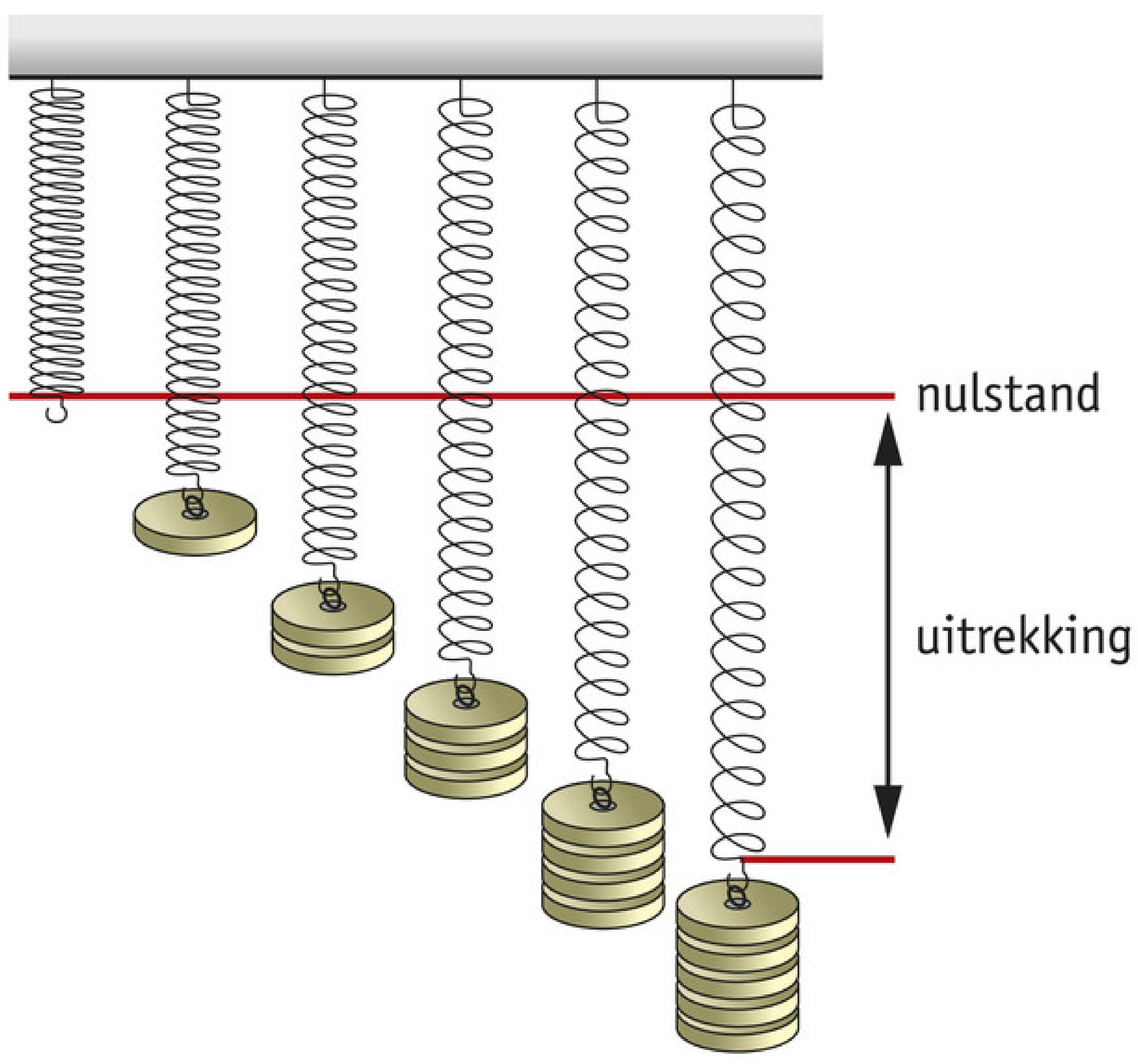
In deze situatie houden de krachten elkaar in evenwicht. Ze trekken even hard aan de zak, maar in tegenovergestelde richtingen. Daardoor gebeurt er niets: de zak beweegt niet omhoog en ook niet omlaag. De veerkracht en de zwaartekracht heffen elkaar op.

Als je een voorwerp aan een veer hangt, is er niet meteen evenwicht. Dat zie je ook: het voorwerp beweegt naar beneden en de veer rekt steeds verder uit. Ondertussen wordt de veerkracht steeds groter. Dat gaat door tot de veerkracht even groot is als de zwaartekracht. Op dat moment is er evenwicht.

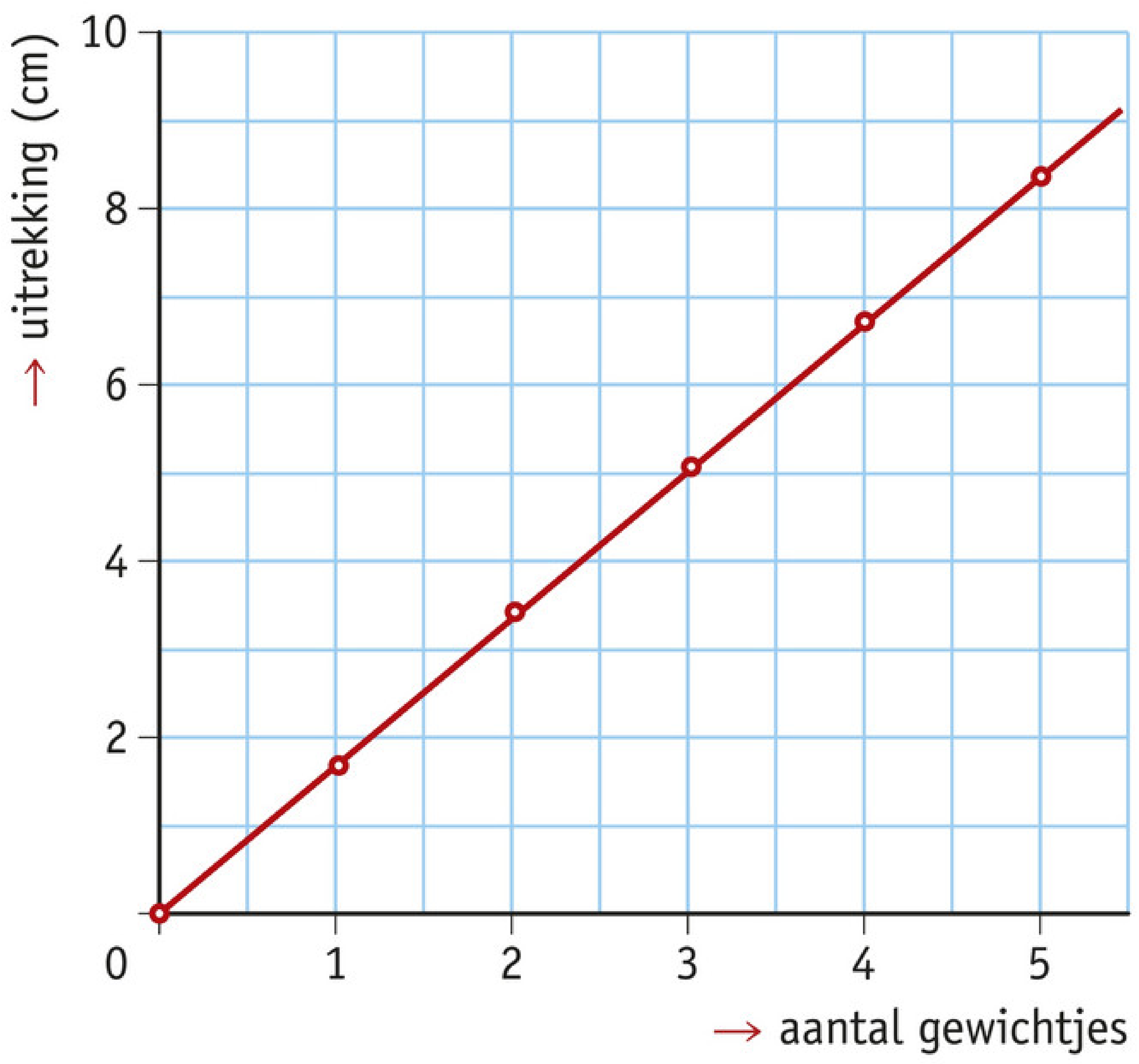
In figuur 12 zie je nog een voorbeeld van twee krachten die evenwicht maken. Als het tafelblad er niet was, zou de fruitschaal naar beneden vallen. Dat gebeurt niet, omdat het tafelblad een kracht omhoog uitoefent, loodrecht op het tafelblad: de **normaalkracht** $F_n$. De normaalkracht maakt evenwicht met de zwaartekracht, zodat de fruitschaal niet in beweging komt.




▶ **figuur 12**
zwaartekracht en normaalkracht




▲ **figuur 13**
proef met een spiraalveer




▲ **figuur 14**
de grafiek van de proef met de spiraalveer

## Kracht en uitrekking Proef 1

In figuur 13 is getekend hoe je het verband kunt bepalen tussen de kracht op een veer en de **uitrekking**: het aantal centimeters waarmee de lengte van de veer toeneemt. Je doet dat door steeds meer gewichtjes aan de veer te hangen en elke keer de uitrekking te bepalen. Je vergelijkt de lengte van de veer daarvoor met de **nulstand**: de lengte bij het begin van de proef, als de veer niet wordt uitgerekt.

Als je gewichtjes gebruikt met een massa van 100 g, neemt de kracht op de veer telkens toe met (afgerond) 1,0 N. Zo kun je aantonen dat de uitrekking **recht evenredig** is met de kracht:

- Als de kracht 2× zo groot wordt, wordt de uitrekking ook 2× zo groot.
- Als de kracht 3× zo groot wordt, wordt de uitrekking ook 3× zo groot.
- Enzovoort.

Als je de meetresultaten verwerkt tot een grafiek, is het resultaat een rechte lijn door de oorsprong (figuur 14).

Omdat de uitrekking van een veer recht evenredig is met de kracht, krijg je steeds hetzelfde getal als je de kracht deelt door de bijbehorende uitrekking. In symbolen:

$$C = \frac{F}{u}$$

Dit constante getal $C$ wordt de **veerconstante** genoemd. Als je de kracht $F$ invult in N en de uitrekking $u$ in cm, vind je de veerconstante $C$ in N/cm. De veerconstante is een maat voor de **stugheid** van een veer. Een veer met $C$ = 200 N/cm is bijvoorbeeld veel stugger dan een veer met $C$ = 2 N/cm.

***Voorbeeldopgave 1***

Een veer is 23,2 cm lang als er niets aan hangt, en 31,8 cm als er een gewichtje van 250 g aanhangt.
Bereken met deze gegevens de veerconstante van de veer.

gevens: $u = 31{,}8 - 23{,}2 = 8{,}6$ cm
$m = 250$ g $= 0{,}25$ kg

gevraagd: $C = ?$

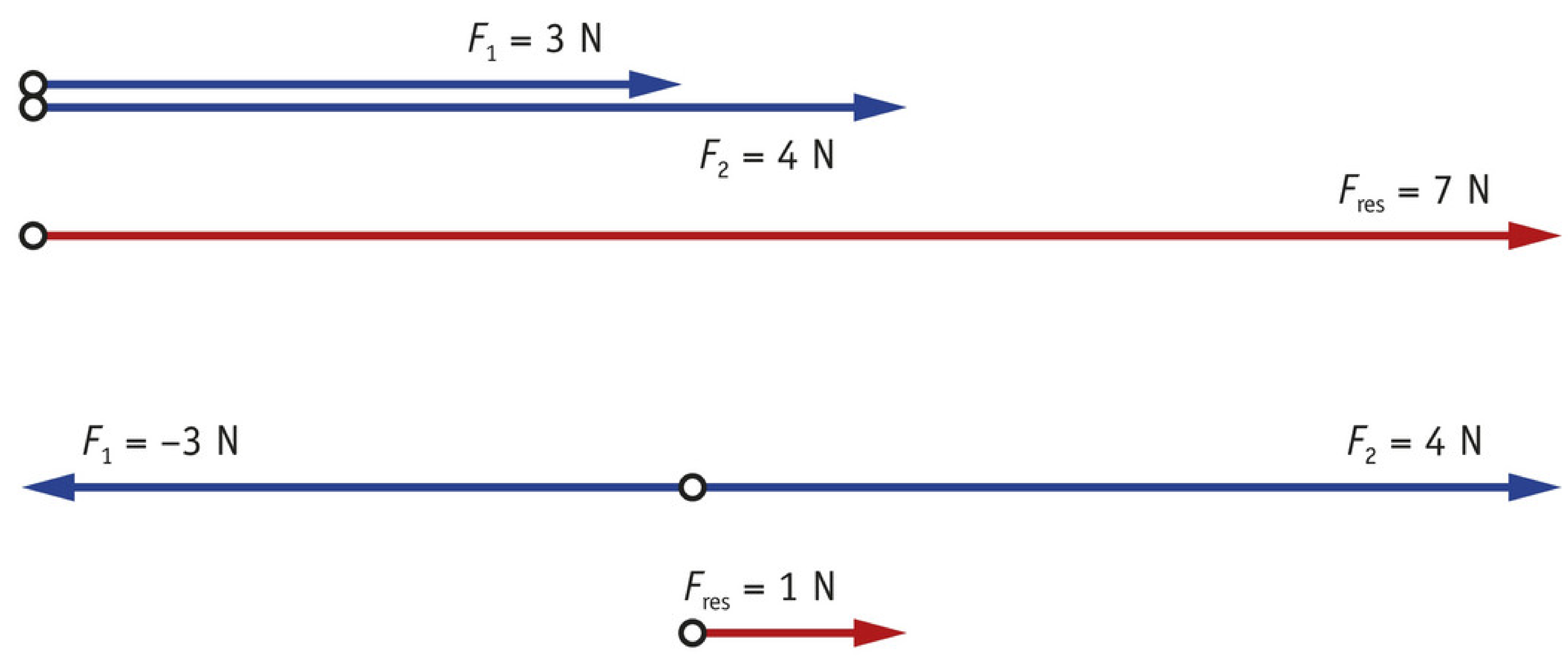
uitwerking: $F_z = m \cdot g = 0{,}25 \times 9{,}8 = 2{,}45$ N

$$C = \frac{F}{u} = \frac{2{,}45}{8{,}6} \approx 0{,}28 \text{ N/cm}$$

## De resultante bepalen

Als krachten evenwicht maken, heffen ze elkaar op: het lijkt wel alsof er helemaal geen krachten op het voorwerp werken. Je zegt in dat geval dat de **resultante** $F_{res}$ op het voorwerp 0 N is. De resultante is de optelsom van alle krachten samen. De resultante wordt ook wel 'resulterende kracht', de 'nettokracht' of de 'somkracht' genoemd.

Als krachten langs dezelfde lijn liggen, kun je de resultante berekenen door de krachten bij elkaar op te tellen. Je moet daarbij rekening houden met de richting die de krachten hebben. Daarom tel je krachten in de ene richting mee als positieve getallen en krachten in de tegenovergestelde richting als negatieve getallen (figuur 15). Welke richting je daarbij als positief neemt, mag je zelf weten.




▶ **figuur 15**
krachten optellen

***Voorbeeldopgave 2***

Bij een touwtrekwedstrijd strijden twee teams met elkaar (figuur 16). Boris en Karin trekken naar links, de één met 545 N, de ander met 642 N. Nina en Koos trekken naar rechts, de één met 521 N, de ander met 664 N.
Bereken welke partij aan de winnende hand is.

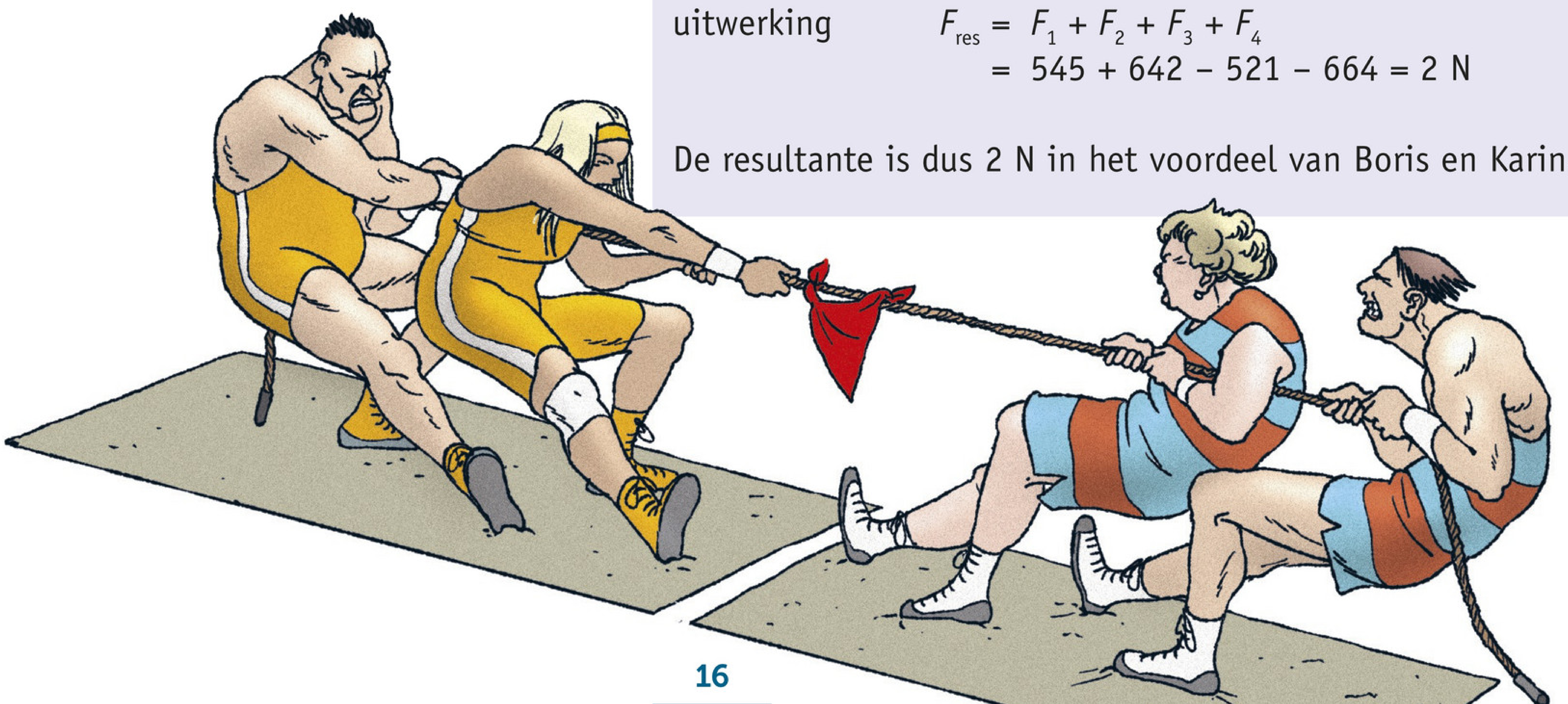
gegevens $F_1 = 545$ N; $F_2 = 642$ N; $F_3 = -521$ N; $F_4 = -664$ N

gevraagd $F_{res} = ?$

uitwerking
$$F_{res} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$
$$= 545 + 642 - 521 - 664 = 2 \text{ N}$$

De resultante is dus 2 N in het voordeel van Boris en Karin.

▼ **figuur 16**
Boris en Karin nemen het op tegen Nina en Koos.



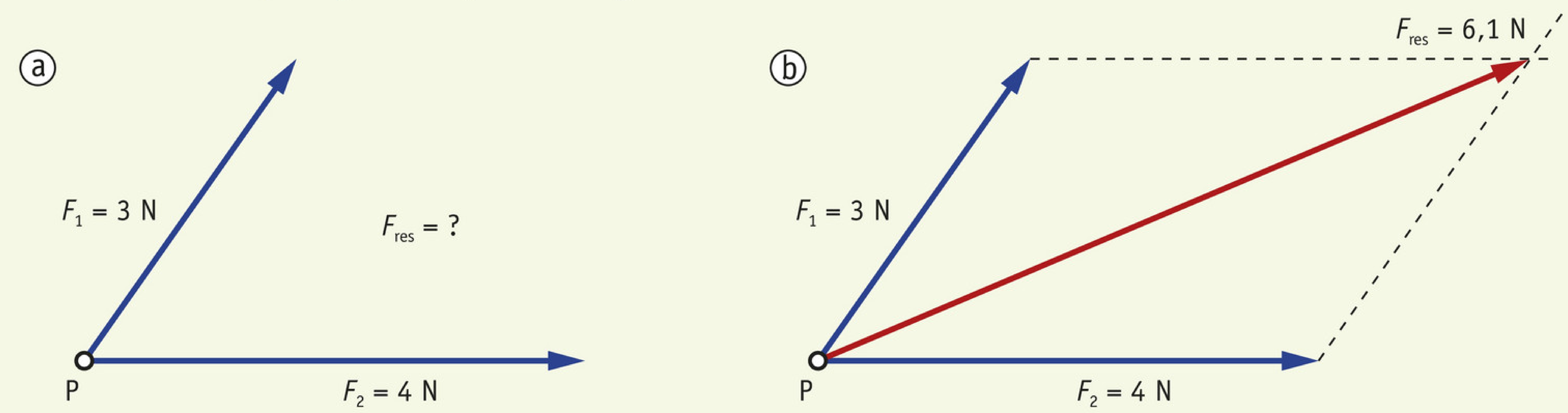
## Plus Krachten samenstellen

In figuur 17a zie je twee krachten die in verschillende richtingen werken. In zo'n geval is er geen eenvoudige manier om de resultante te berekenen. Dat komt doordat krachten vectoren zijn. Niet alleen hun grootte is belangrijk, ook hun richting.

Om in deze situatie de resultante te vinden, moet je de krachten $F_1$ en $F_2$ **samenstellen**. Dat doe je door een tekening op schaal te maken (figuur 17b). Dat gaat zo:

1 Kies een geschikte krachtenschaal. Teken de krachten op schaal, onder de juiste hoek.
2 Je kunt de twee pijlen zien als de twee zijden van een parallellogram. Maak dit parallellogram af.
3 Teken een pijl van het beginpunt P naar het tegenoverliggende hoekpunt. Deze pijl geeft de richting aan van de resultante.
4 Meet de lengte van deze pijl. Met behulp van de krachtenschaal kun je nu de grootte van de resultante berekenen.

▼ **figuur 17**
Zo bepaal je de resultante van $F_1$ en $F_2$.




**opgaven** **Leerstof**

**12** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Welke drie soorten krachten worden aangeduid met de symbolen $F_n$, $F_v$ en $F_z$?

**b** Welke twee meetgegevens heb je nodig om de uitrekking te kunnen bepalen?

**c** Met welke formule kun je de veerconstante $C$ van een spiraalveer berekenen?

**d** Voor welke eigenschap van een veer is de veerconstante een 'eerlijke' maat?

**13** Neem tabel 1 over en vul de ontbrekende gegevens in.

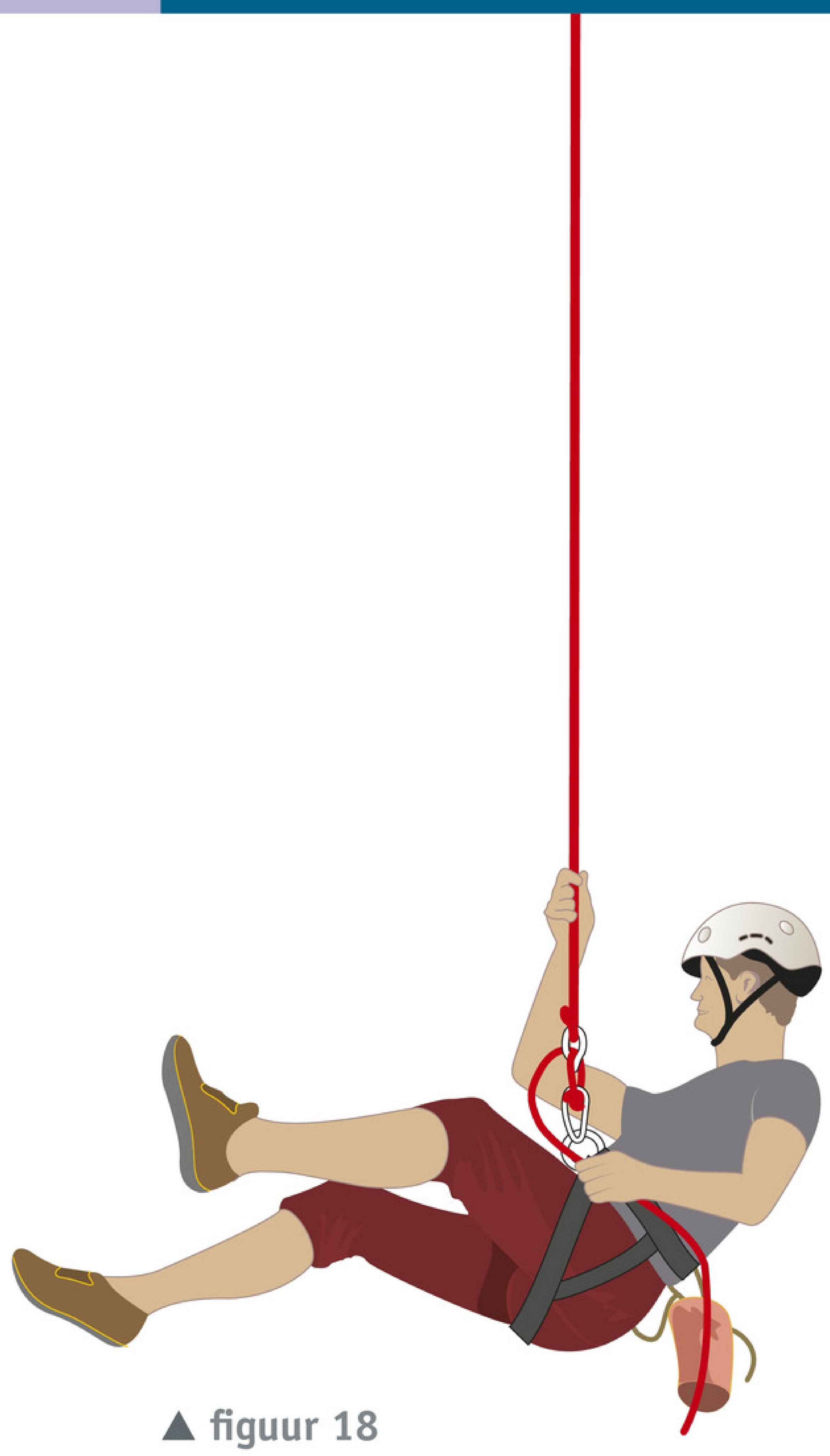
▼ **tabel 1** enkele grootheden en eenheden

| grootheid | symbool | eenheid | symbool |
|---|---|---|---|
| | | | N |
| uitrekking | | | |
| | $C$ | | |

**14** Twee krachten $F_1$ = 3 N en $F_2$ = 4 N werken langs dezelfde lijn.
Hoe groot is de resultante van $F_1$ en $F_2$:
- **a** als ze in dezelfde richting werken?
- **b** als ze in tegenovergestelde richting werken?

## Toepassing

**15** Een bergbeklimmer neemt tijdens het abseilen even rust (figuur 18).
- **a** Welke twee krachten werken er op de bergbeklimmer?
- **b** Schets deze situatie. Geef in je schets aan:
  - waar de twee krachten aangrijpen.
  - in welke richting de krachten werken.
  - langs welke lijn de krachten werken.



▲ **figuur 18**
een bergbeklimmer

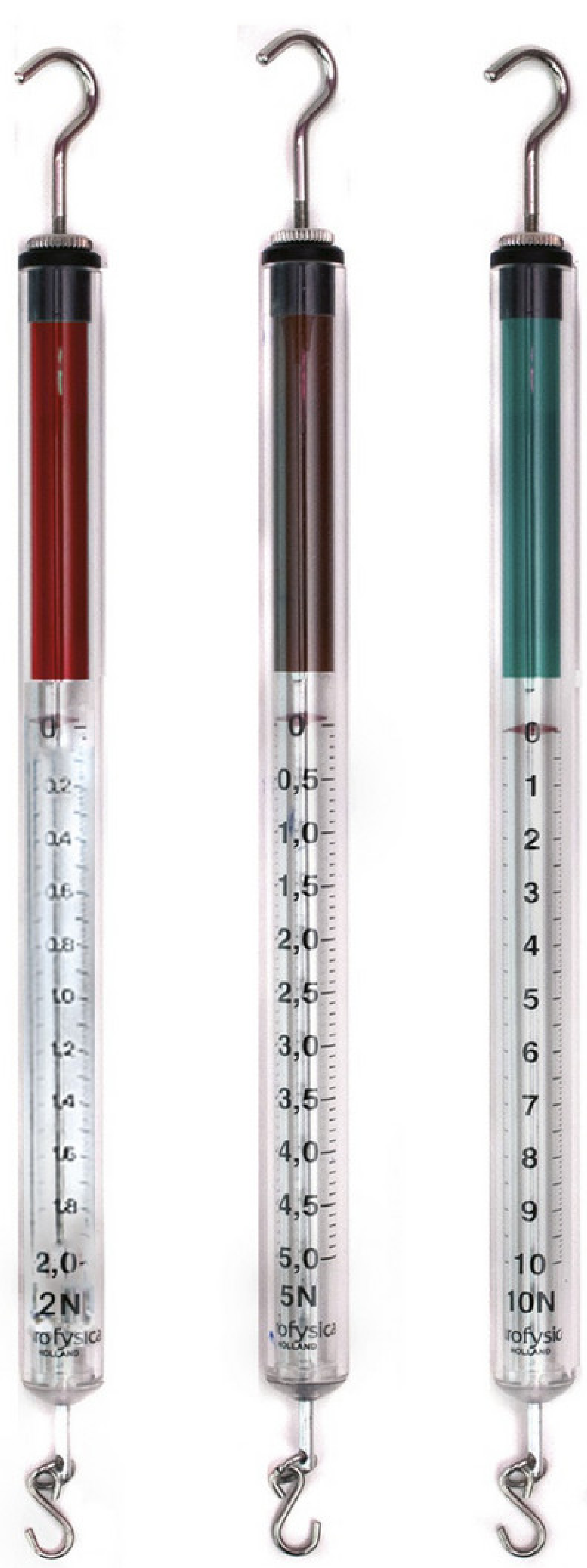
**16** Bij deze opgave heb je werkblad 1-4 nodig.
Willem voert de proef uit die op het werkblad getekend is.
- **a** In tabel 2 zie je een deel van zijn meetresultaten.
  Vul de tabel op het werkblad verder in.
- **b** Zie vaardigheid 7 achter in het boek.
  Teken op het werkblad de grafiek van deze proef.
- **c** Bepaal met behulp van de grafiek:
  - hoe ver de veer wordt uitgerekt door een kracht van 0,5 N.
  - hoe ver de veer wordt uitgerekt door een kracht van 0,8 N.

▼ **tabel 2** de meetresultaten van Willem

| aantal gewichtjes | kracht op de veer (N) | uitrekking (cm) |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0,15 | 1,8 |
| 2 | 0,30 | |
| enzovoort | | |

**17** In figuur 19 zie je drie even grote krachtmeters: rood (0-2 N), bruin (0-5 N) en groen (0-10 N). De afstand tussen het nulpunt en het eindpunt van de schaal is bij elke krachtmeter 8,4 cm.
- **a** In welke krachtmeter zit de meest stugge veer? Waaraan kun je dat zien, zonder eerst de veerconstante te bepalen?
- **b** Zie vaardigheid 5 achter in het boek.
  Bereken de veerconstante van de veer in de rode krachtmeter.
- **c** Beredeneer hoe groot de veerconstante is van de veren in de andere krachtmeters (zonder een formule te gebruiken).

**Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.**




◀ **figuur 19**
drie krachtmeters



▲ **figuur 20**
een bungeejumper

***18** Ellen doet een proef met een spiraalveer ($C$ = 35 N/m). Eerst meet ze de lengte van de veer als er niets aan hangt: 22 cm. Daarna hangt ze een blokje van 250 g aan de veer.
Bereken hoe groot de lengte van de veer nu wordt. Schrijf de hele berekening overzichtelijk op.

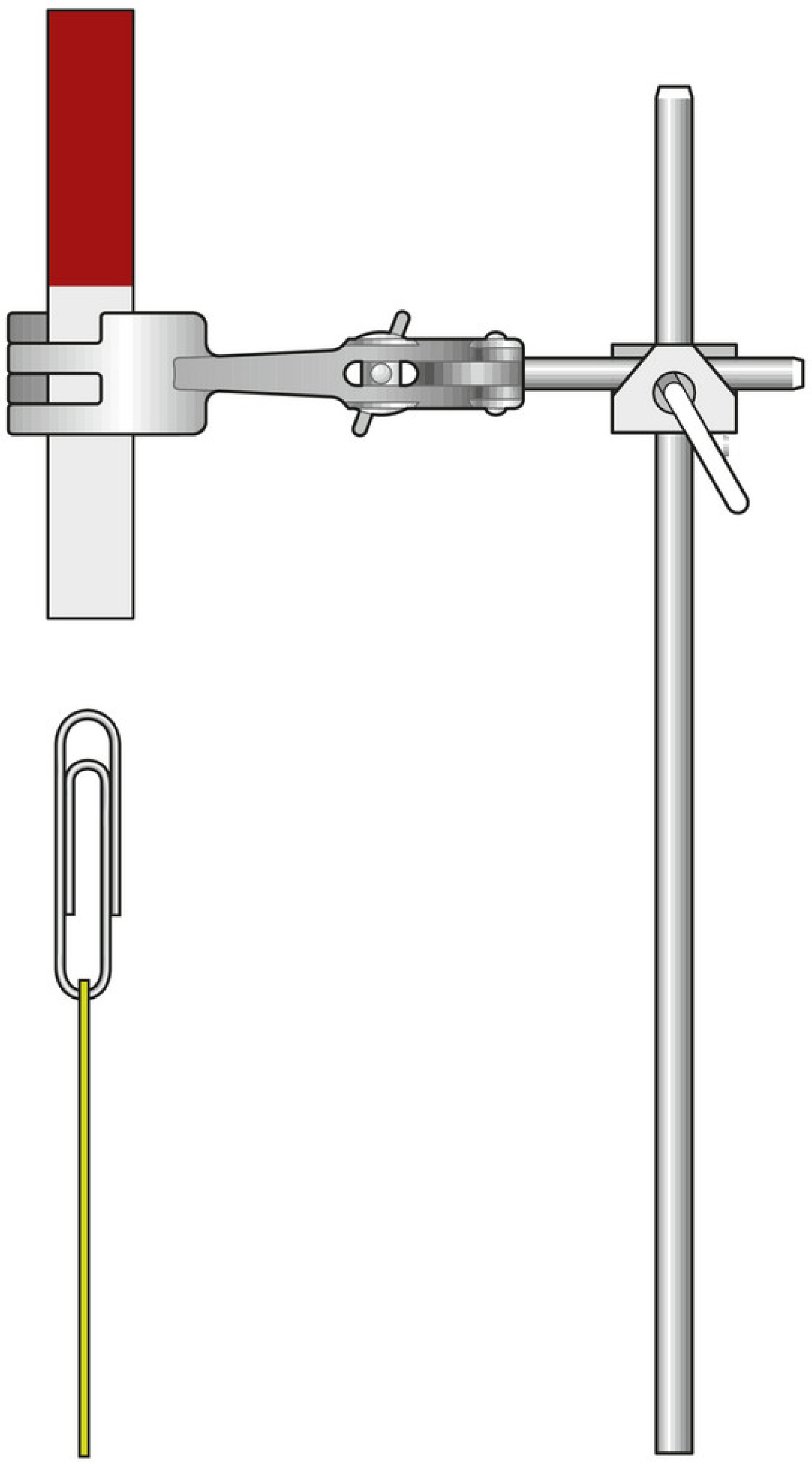
**19** In figuur 20 zie je Anton die aan het bungeejumpen is.
- **a** In de situatie op de foto oefent het elastiek nog geen veerkracht uit op Anton.
  Waaraan zie je dat?
- **b** Wanneer begint de veerkracht van het elastiek op Anton te werken?
- **c** Anton merkt op een bepaald moment dat de veerkracht van het elastiek groter is dan zijn zwaartekracht.
  Waaraan merkt hij dat?
- **d** Wanneer is de veerkracht die op Anton wordt uitgeoefend, het grootst?
- **e** In welke richting werkt de resultante op Anton op dat moment?
- **f** Wat gebeurt er daarna dus met Anton?

***20** In figuur 21 zie je hoe je een paperclip kunt laten zweven met behulp van een magneet. Op de paperclip werken drie krachten.
- **a** Welke twee krachten zijn naar beneden gericht?
- **b** Welke kracht op de paperclip is omhoog gericht?
- **c** Welke van de drie krachten is het grootst? Hoe kun je dat beredeneren?

## Plus Krachten samenstellen

**21** Bij deze opgave heb je werkblad 1-5 nodig.
Op het werkblad zie je vijf tekeningen a tot en met e waarin twee krachten $F_1$ en $F_2$ in hetzelfde punt aangrijpen.
- **a** Teken in elk van de vijf tekeningen de resultante van $F_1$ en $F_2$.
- **b** Maak een tabel en vul voor elke tekening in:
  – hoe lang de pijl van elke resultante is.
  – hoe groot de resultante is volgens de krachtenschaal.

**22** Bij deze opgave heb je werkblad 1-6 nodig.
Op het werkblad is getekend hoe de sleepboten A en B een vrachtboot vooruit trekken. Elke sleepboot oefent een kracht van 600 kN uit op de vrachtboot.
- **a** Teken deze krachten op schaal op het werkblad.
- **b** Teken de resultante van deze twee krachten.
- **c** Bepaal de grootte van de resultante.



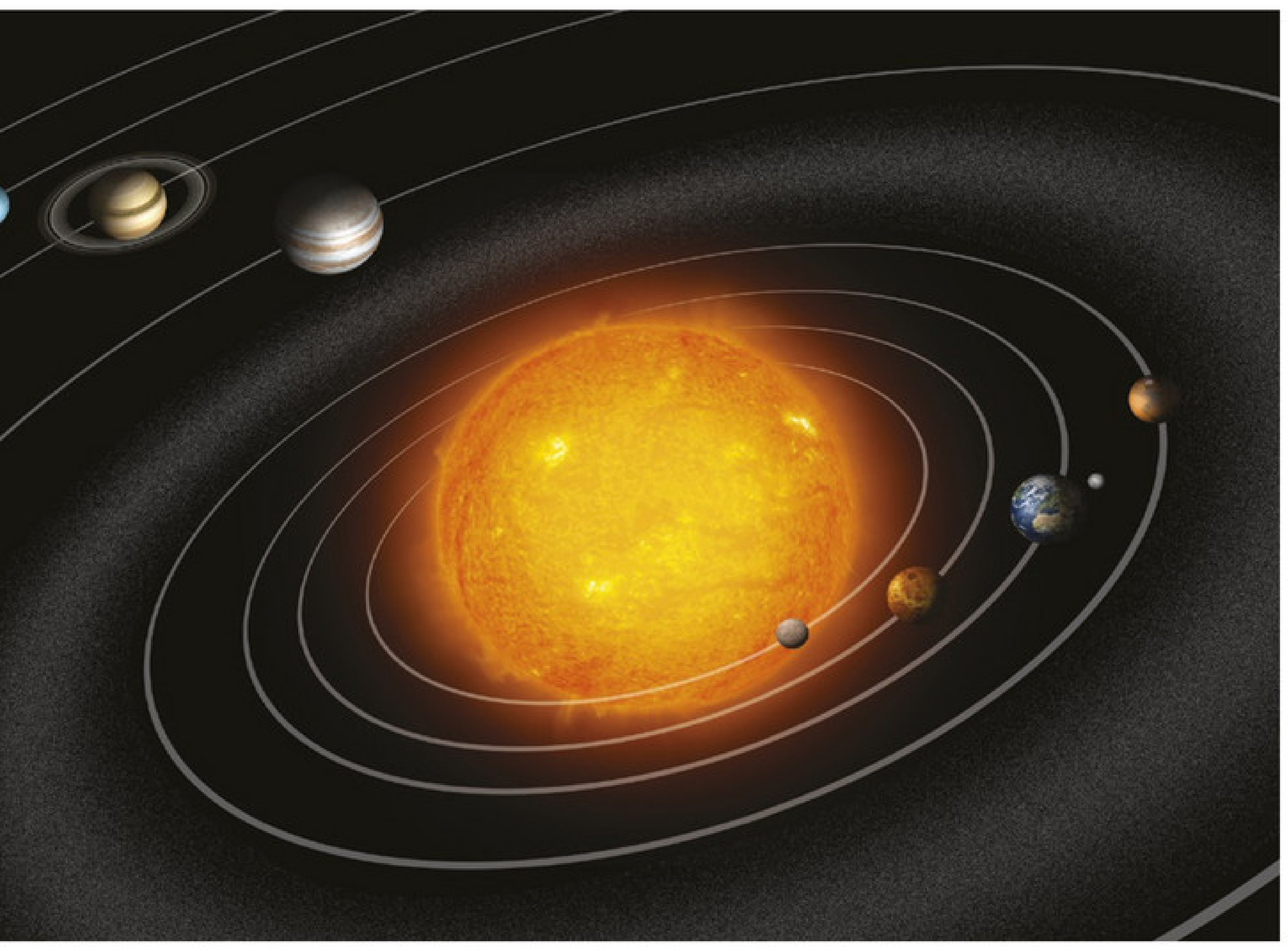
◀ **figuur 21**
de zwevende paperclip

# 3 Krachten in het heelal

**Wetenschappers hebben lang gedacht dat de zwaartekracht alleen vlak bij de aarde actief is. Ze geloofden dat sterren en planeten zich in de 'hemelse sferen' bevinden, ver buiten het bereik van de zwaartekracht. Dat idee bleek niet te kloppen. De zwaartekracht komt overal in het heelal voor en bepaalt hoe sterren, planeten en manen bewegen.**

## Het zonnestelsel

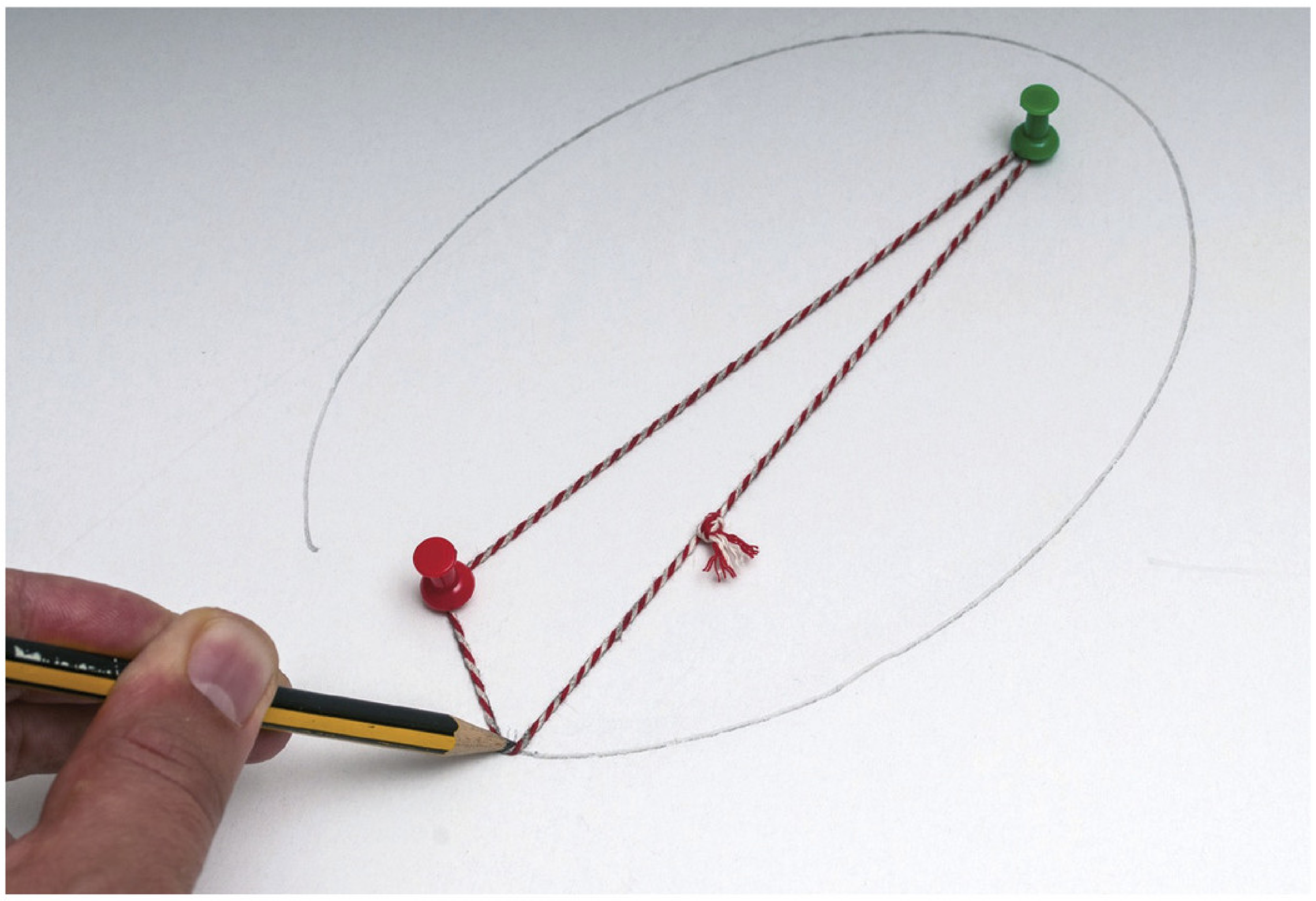
De aarde is een van de planeten in het zonnestelsel (figuur 22). Net als Mercurius, Venus en Mars hoort de aarde bij de aardse planeten. Deze planeten zijn relatief klein en hebben een rotsachtig oppervlak. De 'gasreuzen' Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus zijn veel groter. Ze bestaan grotendeels uit gassen en hebben geen oppervlak waarop je kunt lopen.



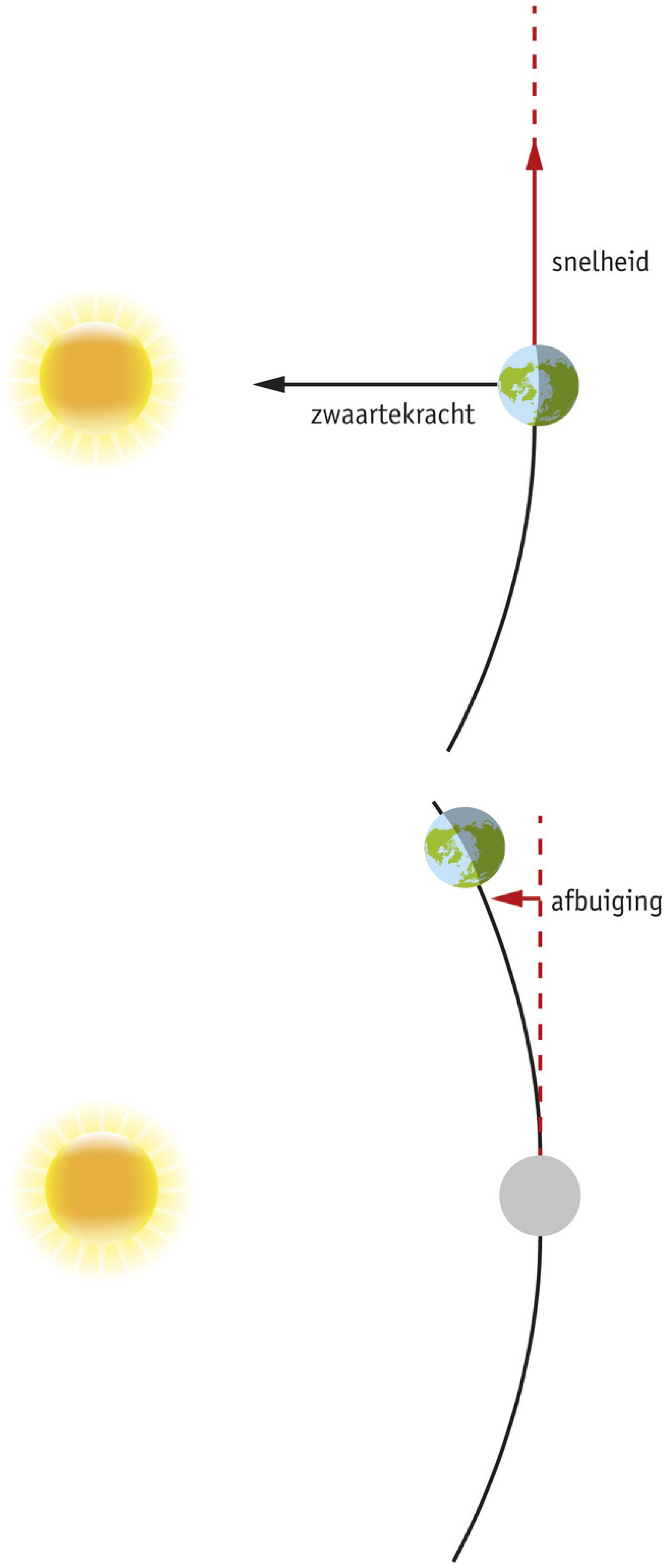
▲ **figuur 22**
het zonnestelsel (niet op schaal)

De afstanden in het zonnestelsel zijn enorm groot. Daarmee vergeleken zijn de planeten heel klein. De aarde staat gemiddeld op 150 miljoen km van de zon, terwijl de diameter van de aarde afgerond 'maar' 13 duizend km is. Daarom is het zonnestelsel in figuur 22 niet op schaal getekend: anders zou je de planeten helemaal niet kunnen zien en zou zelfs de zon niet meer zijn dan een stipje.

De planeten draaien in elliptische (ellipsvormige) banen rond de zon. Een ellips is een wiskundige figuur die eruitziet als een afgeplatte cirkel. In figuur 23 zie je hoe je een ellips kunt tekenen met twee punaises, een touwtje en een potlood. Hoe dichter je de punaises bij elkaar zet, des te meer lijkt de ellips op een cirkel. De ellipsen waarin de planeten ronddraaien, zijn bijna cirkelvormig.



▶ **figuur 23**
Zo teken je een ellips.




▲ **figuur 24**
het effect van de zwaartekracht op de beweging van een planeet

## De beweging van de planeten

De Engelse natuurkundige Isaac Newton vroeg zich af wat een planeet 'vasthoudt' in zijn baan rond de zon. Waardoor beweegt een planeet niet steeds verder in dezelfde richting, zoals een tennisbal die je wegslaat? Zo'n tennisbal komt niet met een grote bocht bij jou terug. Waardoor beschrijft een planeet dan wel een ellips rond de zon?

Newton kwam tot de conclusie dat de zwaartekracht hierbij een belangrijke rol speelt. Net zoals een appel wordt aangetrokken door de aarde, wordt een planeet aangetrokken door de zon. Dat een planeet niet recht naar de zon toe valt, komt doordat hij met grote snelheid langs de zon beweegt. De zwaartekracht én de eigen snelheid van de planeet zorgen er samen voor dat de planeet in een baan rond de zon blijft.

In figuur 24 is getekend hoe dat werkt. Zoals je ziet, staat de zwaartekracht (bijna) loodrecht op de bewegingsrichting van de planeet. De planeet beweegt daardoor niet in een rechte lijn, maar buigt af in de richting van de zwaartekracht. En dat gaat de hele tijd zo door: de zwaartekracht laat de planeet voortdurend afbuigen, zodat hij uiteindelijk een volledige ellips rond de zon beschrijft.

Bij elke draaiende beweging is er een **middelpuntzoekende kracht** die het voorwerp laat afbuigen. In het zonnestelsel is de zon het middelpunt en de zwaartekracht de middelpuntzoekende kracht. In figuur 25 zie je een andere situatie waarin een voorwerp ronddraait. Hier is het de spierkracht die de kogel steeds van richting laat veranderen.

## Zwaartekracht en gewicht

Doordat voorwerpen door de aarde worden aangetrokken, gaan ze op hun beurt zelf ook krachten uitoefenen. Dat merk je als je een krat frisdrank optilt. De zwaartekracht trekt aan het krat en daardoor drukt het krat op je handen. Als je het krat niet snel weer neerzet, blijft de afdruk in je handen staan.

De kracht die het krat op je handen uitoefent, noem je het **gewicht** $G$. Het gewicht is iets anders dan de zwaartekracht. De zwaartekracht werkt op het voorwerp zelf, terwijl het gewicht werkt op de ondersteuning: een steunvlak, een touw, je handen, enzovoort. Het gewicht is ook iets anders dan de massa: de hoeveelheid stof (materie) waaruit een voorwerp bestaat. De massa heeft alleen een grootte en geen richting, zoals het gewicht.




◀ **figuur 25**
Er is een flinke kracht voor nodig om de kogel steeds van richting te laten veranderen.




▲ **figuur 26**
De zwaartekracht werkt op het meisje. Haar gewicht werkt op de balk.

Als een voorwerp wordt ondersteund, zoals het meisje in figuur 26, is het gewicht even groot als de zwaartekracht:

$G = F_z = m \cdot g$

Als een voorwerp vrij naar beneden valt, is er geen ondersteuning en dus ook geen gewicht. In dat geval is $G$ gelijk aan 0 N.

***Voorbeeldopgave 3***
De turnster in figuur 26 heeft een massa van 52 kg.
Bereken het gewicht waarmee haar voet op de balk drukt.

gegevens $m$ = 52 kg
$g$ = 9,8 N/kg

gevraagd $G$ = ?

uitwerking $G = F_z = m \cdot g = 52 \times 9{,}8 \approx 510$ N

## Gewichtloosheid

Als je een sprong maakt, is je lichaam even in **vrije val**. Een paar seconden lang werkt alleen de zwaartekracht op je lichaam. Omdat je lichaam nergens op steunt, ben je even gewichtloos. Maar omdat een sprong zo kort duurt, ervaar je niet echt hoe dat is. Bij een skydive of een paraboolvlucht (figuur 27) duurt de vrije val langer en is het gevoel van gewichtloosheid er wel.

Een ruimtevaartuig dat in een baan rond de aarde is gebracht, verkeert constant in een toestand van vrije val. De enige kracht die op het ruimtevaartuig werkt, is de zwaartekracht. Daardoor beweegt het in een ellips rond de aarde, net als een planeet rond de zon. De mensen in het ruimtevaartuig doen hetzelfde: die bewegen ook in vrije val en zijn daardoor permanent gewichtloos.

▼ **figuur 27**
gewichtloosheidtraining voor toekomstige astronauten

# Paraboolvlucht

Als je er wat geld voor over hebt, kun je genieten van een geweldige attractie: de paraboolvlucht. Tijdens zo'n paraboolvlucht, uitgevoerd met een Airbus A300, vliegt de piloot steil omhoog om het vliegtuig vervolgens met een boog gedurende zo'n twintig seconden een vrije val te laten maken. In die twintig seconden heerst aan boord gewichtloosheid, of met de officiële term: microgravitatie. Een vlucht bestaat uit dertig van die parabolen. Vluchten als deze worden gebruikt om toekomstige astronauten alvast te laten wennen aan de gewichtloosheid in hun ruimtestation.

*Bron: De nieuwe ster*

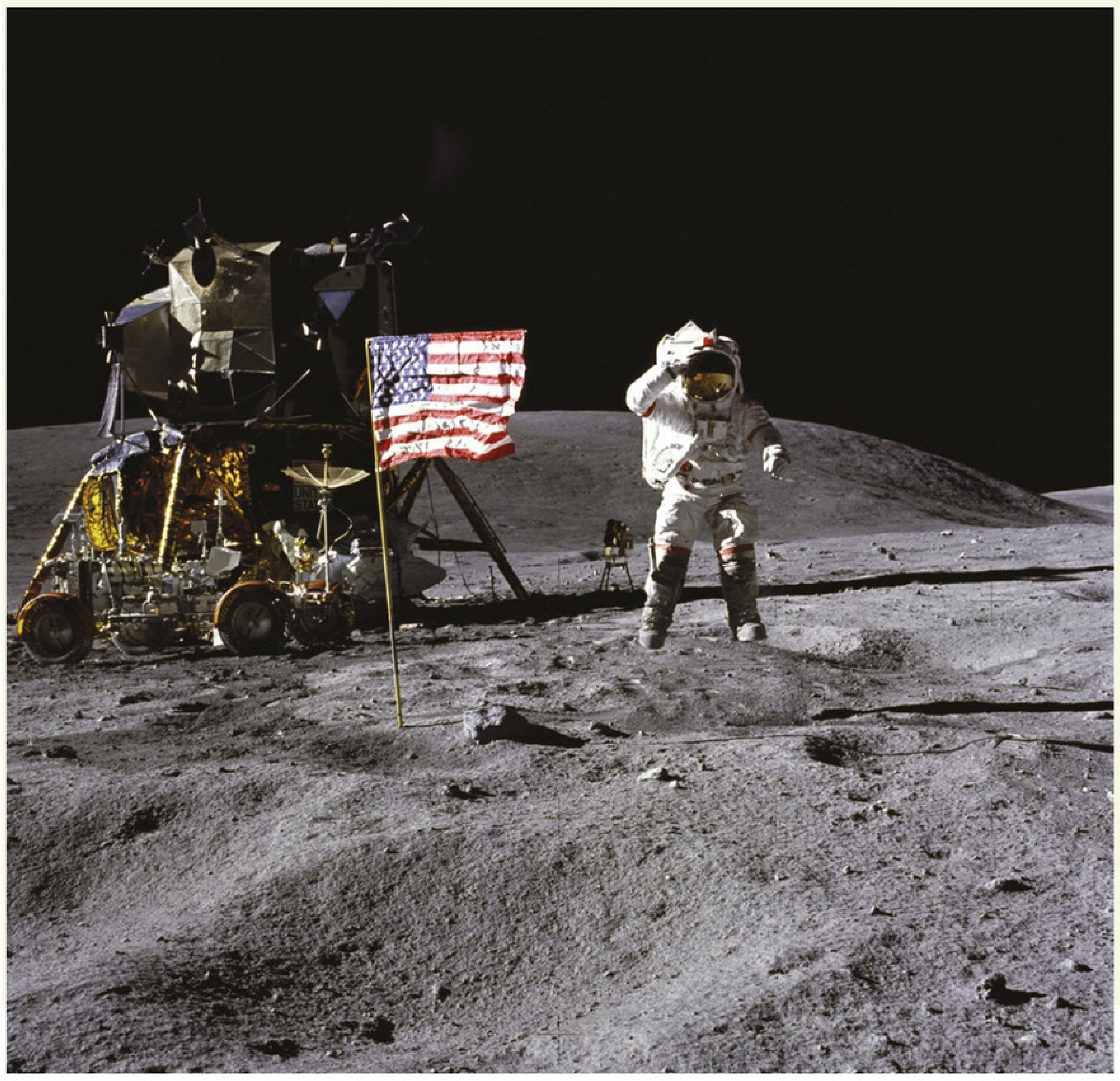


## Plus De sterkte van de zwaartekracht

Op aarde is de zwaartekracht op een voorwerp overal even groot. Dat kun je controleren door een steen van 1,0 kg aan een krachtmeter te hangen. Je ziet dan dat de krachtmeter altijd 9,8 N aangeeft, waar op aarde je ook bent. Nederland, Australië, Amerika of Japan, het maakt niet uit: *g* is overal 9,8 N/kg.

Als je deze proef op de maan zou doen, krijg je een ander resultaat. De krachtmeter zou dan maar 1,6 N aangeven, als er een steen van 1,0 kg aan hangt. Op de maan heeft *g* de waarde 1,6 N/kg: ongeveer een zesde van de waarde op aarde. Zou je *g* op een planeet meten, dan vind je weer een andere waarde (tabel 3).

Dat *g* op de maan veel kleiner is dan op aarde, kun je zien aan de video-opnamen die op de maan zijn gemaakt (figuur 28). De astronauten kunnen op de maan erg hoog springen, veel hoger dan op aarde. Als ze van een rotsblok afspringen, komen ze ook veel zachter neer. Het lijkt wel of ze in slow motion bewegen.



▼ **tabel 3** de sterkte van de zwaartekracht op enkele hemellichamen

| hemellichaam | waarde van *g* (N/kg) |
|---|---|
| aarde | 9,8 |
| maan | 1,6 |
| Mars | 3,7 |
| Mercurius | 3,7 |
| Titan | 1,4 |
| Venus | 8,9 |

◀ **figuur 28**
een springende astronaut op de maan in april 1972

### opgaven Leerstof

**23** Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Hoe komt het dat een planeet niet in een rechte lijn naar de zon toe valt?
- **b** Wat is de middelpuntzoekende kracht die de planeten in hun baan houdt?
- **c** Hoe noem je de kracht die een voorwerp uitoefent op zijn ondersteuning?
- **d** Onder welke omstandigheden zijn mensen voortdurend gewichtloos?

**24** Geef een voorbeeld van een situatie:
- **a** waarin je gewicht en de zwaartekracht op je lichaam even groot zijn.
- **b** waarin je gewicht en de zwaartekracht op je lichaam verschillend zijn.

## Toepassing

**25** Martin gaat een model maken van het zonnestelsel. Voor de aarde wil hij een knikker gebruiken met een diameter van 1,3 cm.
- **a** Hoe groot is de diameter van de aarde in werkelijkheid?
- **b** Welke schaal wil Martin dus gebruiken voor zijn model?
- **c** De diameter van de zon is in werkelijkheid 1,4 miljoen km.
  Hoe groot wordt de diameter van de zon in Martins model?

**26** Vervolg van opgave 25.
Sterrenkundigen drukken afstanden vaak uit in astronomische eenheden (AE). Eén astronomische eenheid is gelijk aan de gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon.
- **a** Hoeveel is 1 AE in kilometer (afgerond)?
- **b** Hoeveel is 1 AE in het model van Martin?
- **c** Neptunus, de achtste en verste planeet, staat gemiddeld op 4,5 miljard km van de zon.
  Druk deze afstand uit in AE.

**27** Exoplaneten zijn planeten die om een andere ster draaien dan de zon. De afgelopen jaren zijn er honderden van die exoplaneten ontdekt. Sommige van deze planeten hebben sterk elliptische banen (figuur 29).
- **a** Schets hoe de baan van exoplaneet HD 80606b eruitziet.
- **b** Hoe verschilt deze baan van de planeetbanen in ons zonnestelsel?
- **c** Waarom is het maar goed dat de aarde niet zo'n baan heeft als HD 80606b?

***28** Satellieten draaien op dezelfde manier rond de aarde als planeten rond de zon. Een satelliet in een 'Low Earth Orbit' (LEO) draait zijn rondjes op een hoogte van 160 km tot 2000 km boven het aardoppervlak. Hij wordt daarbij enigszins afgeremd door de extreem ijle atmosfeer op die hoogte. Leg uit:
- **a** hoe de baan van de satelliet verandert, als hij iets aan snelheid verliest.
- **b** of hij in zijn nieuwe baan meer, evenveel of juist minder wordt afgeremd.
- **c** wat het uiteindelijke lot van de satelliet zal zijn, als zijn brandstof op raakt.

## Geroosterde planeet

Een van de planeten buiten ons zonnestelsel komt zo dicht bij zijn zon dat hij in een paar uur een opwarming van wel 700 graden Celsius meemaakt. De planeet – een gasreus met de creatieve naam HD 80606b – bevindt zich op zo'n tweehonderd lichtjaar van de aarde, is ongeveer vier keer zo zwaar als Jupiter en draait in 111 aardse dagen om zijn zon. De baan van deze planeet heeft de vorm van een ellips, waarbij de ster zich in een uiteinde bevindt. Het ene moment staat de planeet zo ver weg als de aarde van de zon af staat, het andere moment staat hij op maar een dertigste van deze afstand.

*Bron: www.wetenschap24.nl/nieuws/artikelen/2009/januari/Geroosterde-planeet.htm*

◀ **figuur 29**
een exoplaneet met een exotische baan




▲ **figuur 30**
een digitale weegschaal

**29** Zoek op internet een video waarop je atleten ziet kogelslingeren.
**a** Beschrijf hoe de kogel beweegt, voordat de atleet het handvat loslaat.
**b** Beschrijf de beweging, nadat de atleet het handvat heeft losgelaten.
**c** Verklaar het verschil. Gebruik het begrip 'middelpuntzoekende kracht'.

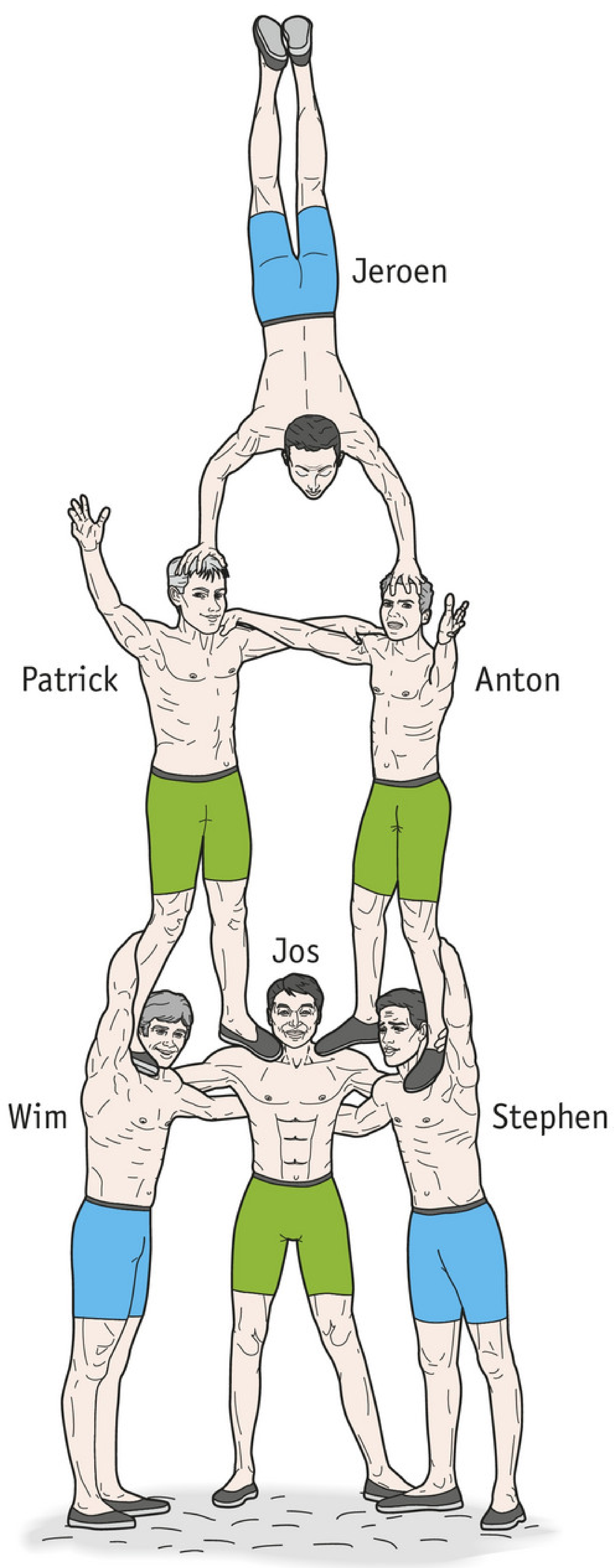
***30** Je kunt digitale weegschalen kopen die naar keuze de massa in kilogram of het gewicht in newton weergeven (figuur 30).
Leg uit:
**a** waaraan je kunt zien dat zo'n digitale weegschaal eigenlijk een krachtmeter is.
**b** hoe het kan dat het apparaat uit een meetresultaat ook de massa kan afleiden.
**c** wat er fout gaat als je dit apparaat zou gebruiken op een ander hemellichaam.

**31** In het circus zijn zes acrobaten met een act bezig. Jeroen (70 kg) is op het moment dat figuur 31 laat zien, perfect in evenwicht.
**a** Welke drie krachten werken er op dat moment op zijn lichaam?
**b** Hoe noem je de kracht die Jeroen op Patricks hoofd uitoefent?
**c** Hoe groot is die kracht ongeveer? Leg uit hoe je dat beredeneert.
**d** Jeroen springt even later naar beneden met een anderhalve salto. Leg uit of daarbij:
- de zwaartekracht op zijn lichaam verandert.
- het gewicht van zijn lichaam verandert.

## Plus De sterkte van de zwaartekracht

**32** Als een astronaut op de maan is, raapt hij een steen op. Veel kracht kost dat niet: maar 64 N. Later neemt hij de steen mee naar de aarde. Hij merkt dat het hem op aarde meer moeite kost om de steen op te tillen.
Bereken:
**a** hoe groot de massa van de steen is.
**b** hoe groot de zwaartekracht op de steen is, als hij zich op aarde bevindt.

***33** Op 21 juli 1969 liep Neil Armstrong als eerste mens op de maan. De massa van zijn lichaam en zijn ruimtepak was in totaal 160 kg.
**a** Bereken hoe groot het gewicht was dat Neil Armstrong op de maanbodem uitoefende.
**b** Beredeneer wanneer Armstrongs gewicht groter was. Was dat met ruimtepak op de maan of zonder ruimtepak op aarde?




◀ **figuur 31**
een circusact

# 4 Hefbomen

**Iets wat je met je blote handen niet lukt, krijg je met een hefboom vaak moeiteloos voor elkaar. Dat is de reden waarom je in het dagelijks leven allerlei hefbomen gebruikt, zoals deurkrukken, flessenopeners, nijptangen en notenkrakers.**

## Werken met hefbomen

Je gebruikt elke dag je spierkracht om dingen los te draaien, open te maken en op te tillen. Vaak heb je daar geen hulpmiddelen voor nodig. Maar het gebeurt ook regelmatig dat je spierkracht niet groot genoeg is. In zo'n geval gebruik je een werktuig. Dat helpt je om meer kracht uit te oefenen.

Een steeksleutel is een goed voorbeeld van een werktuig. Met zo'n sleutel kun je een moer losdraaien die stevig vastzit – veel te vast om met je vingers los te draaien. Je gebruikt de sleutel daarbij als **hefboom**. Zoals elke hefboom heeft de steeksleutel een **draaipunt**. In figuur 32 is dat draaipunt het middelpunt van de moer.



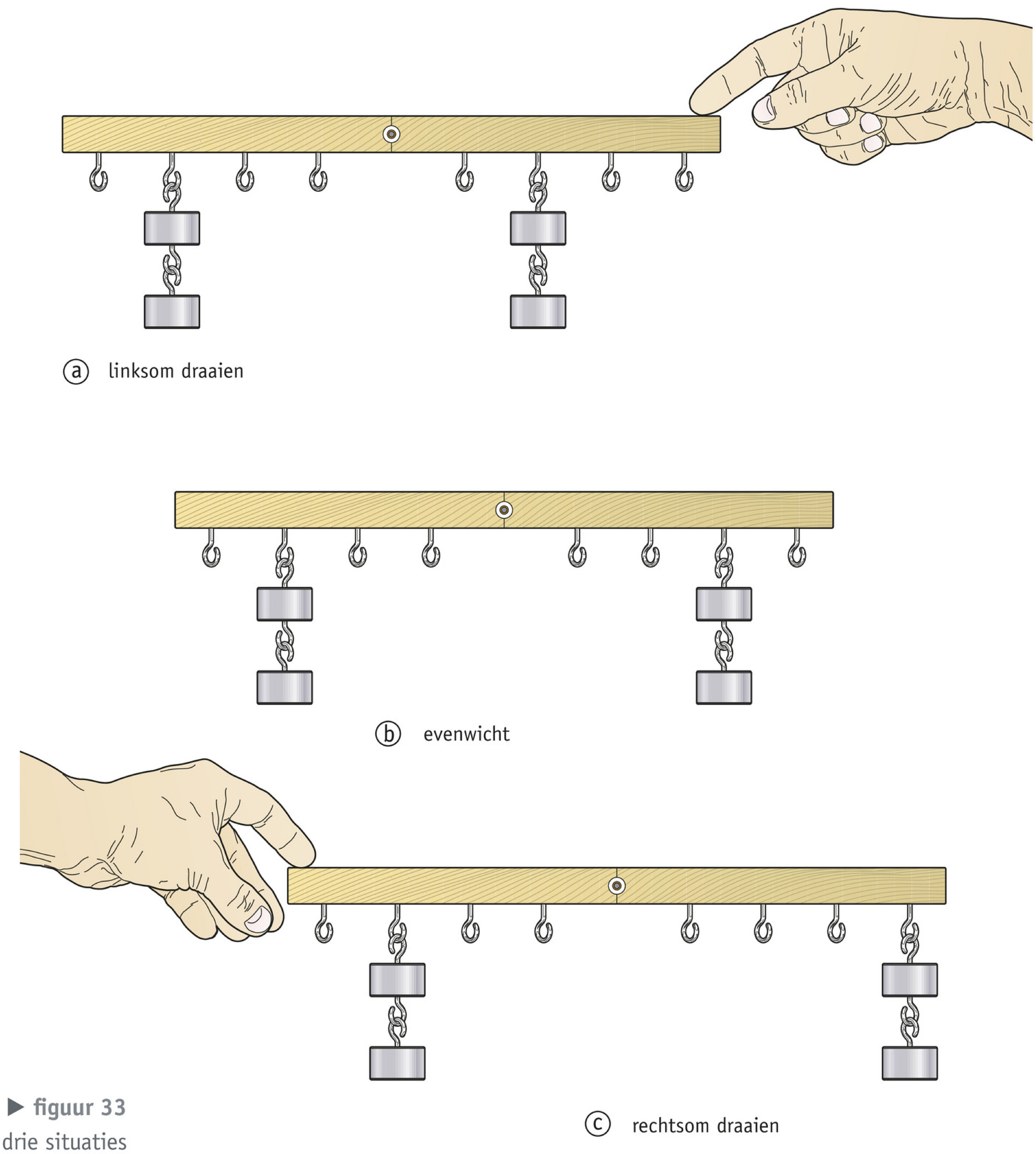
▶ **figuur 32**
Met een steeksleutel krijg je de moer gemakkelijk los.

In deze situatie heb je te maken met twee krachten. Je spierkracht werkt op het uiteinde van de steeksleutel, ver van het draaipunt. Hierdoor oefent de sleutel een kracht uit op de moer, dicht bij het draaipunt. De kracht op de moer is groter dan jouw spierkracht. Dat merk je: je kunt de moer met de sleutel gemakkelijk losdraaien.

## Het moment van een kracht Proef 2 en 3

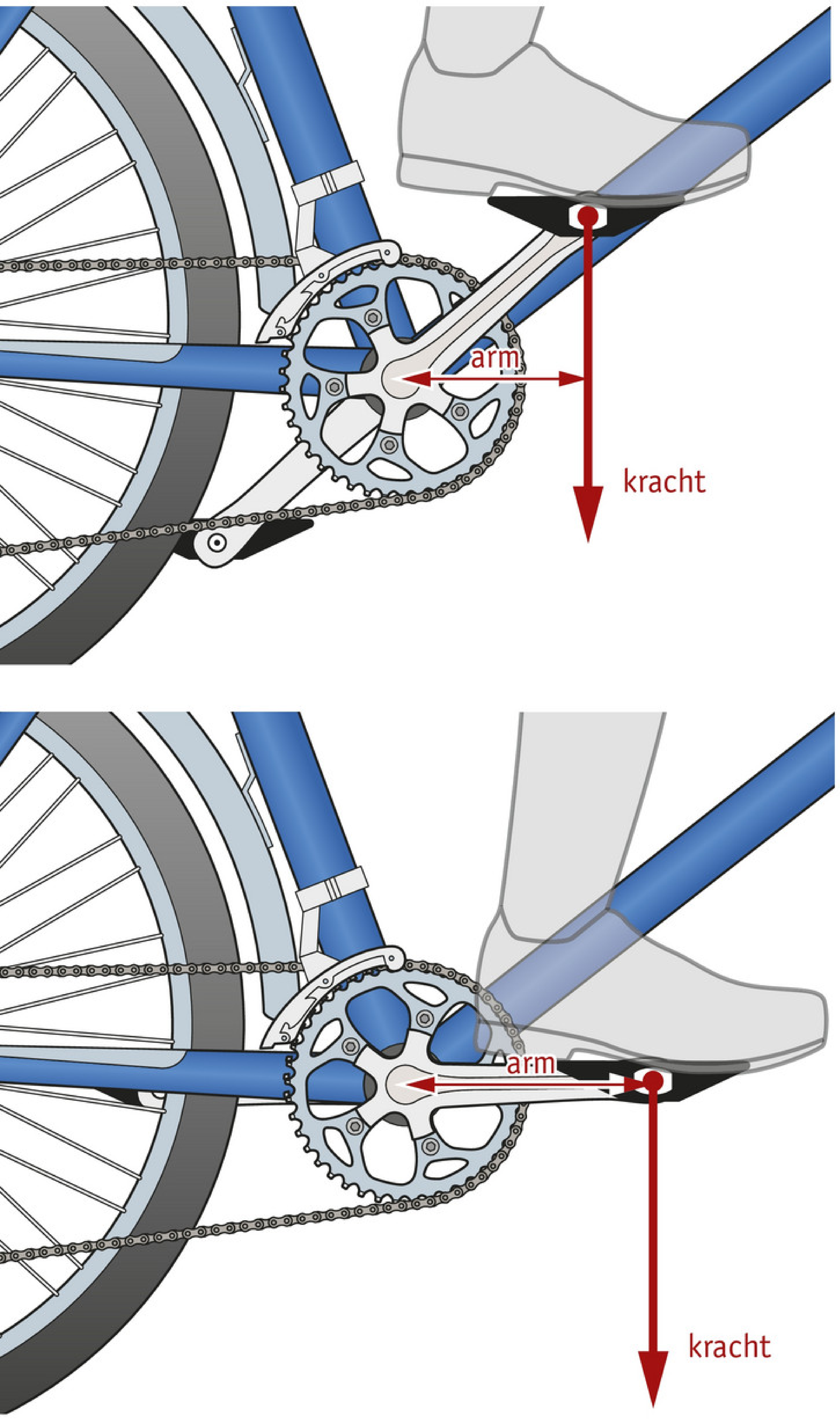
In figuur 33 zie je een eenvoudige hefboom.

- In situatie a is de hefboom niet in evenwicht. Als je hem loslaat, draait hij linksom (tegen de wijzers van de klok in).
- In situatie b is de hefboom in evenwicht.
- In situatie c is de hefboom niet in evenwicht. Als je hem nu loslaat, draait hij rechtsom (met de wijzers van de klok mee).




▶ **figuur 33**
een hefboom in drie situaties

De krachten op de hefboom zijn steeds even groot: het aantal gewichtjes verandert niet. Toch zegt dat nog niet dat er evenwicht is. Het maakt ook uit *waar* de krachten werken. Voor evenwicht zijn dus twee factoren van belang: de grootte van de krachten en de afstand tussen de krachten en het draaipunt.




▲ figuur 34
Zo kun je de arm van de trapkracht bepalen.

Je kunt deze twee factoren combineren tot één begrip: het **moment** van de kracht. Het moment = de grootte van de kracht × de lengte van de arm. Of in formulevorm:

$$M = F \cdot r$$

Als je de kracht $F$ invult in N en de arm $r$ in m, vind je het moment $M$ in newtonmeter (Nm).

De arm $r$ is de afstand tussen de **werklijn** van de kracht en het draaipunt van de hefboom. In figuur 34 kun je zien hoe de arm gemeten wordt: loodrecht op de werklijn van de kracht. De arm is vaak korter dan de afstand tussen het draaipunt en het aangrijpingspunt van de kracht (gemeten langs de hefboom).

## De momentenwet

Op de hefboom in figuur 35 werken links en rechts twee krachten. Of de hefboom in evenwicht is, hangt af van de momenten van deze krachten. Er is evenwicht als het moment van kracht $F_1$ (linksom) even groot is als het moment van kracht $F_2$ (rechtsom). Algemeen geldt: een hefboom is in evenwicht, als de som van de momenten linksom gelijk is aan de som van de momenten rechtsom. In formulevorm:

$$M_1 + M_2 + \ldots \text{ (linksom)} = M_1 + M_2 + \ldots \text{ (rechtsom)}$$

Deze regel wordt de **momentenwet** genoemd.

***Voorbeeldopgave 4***

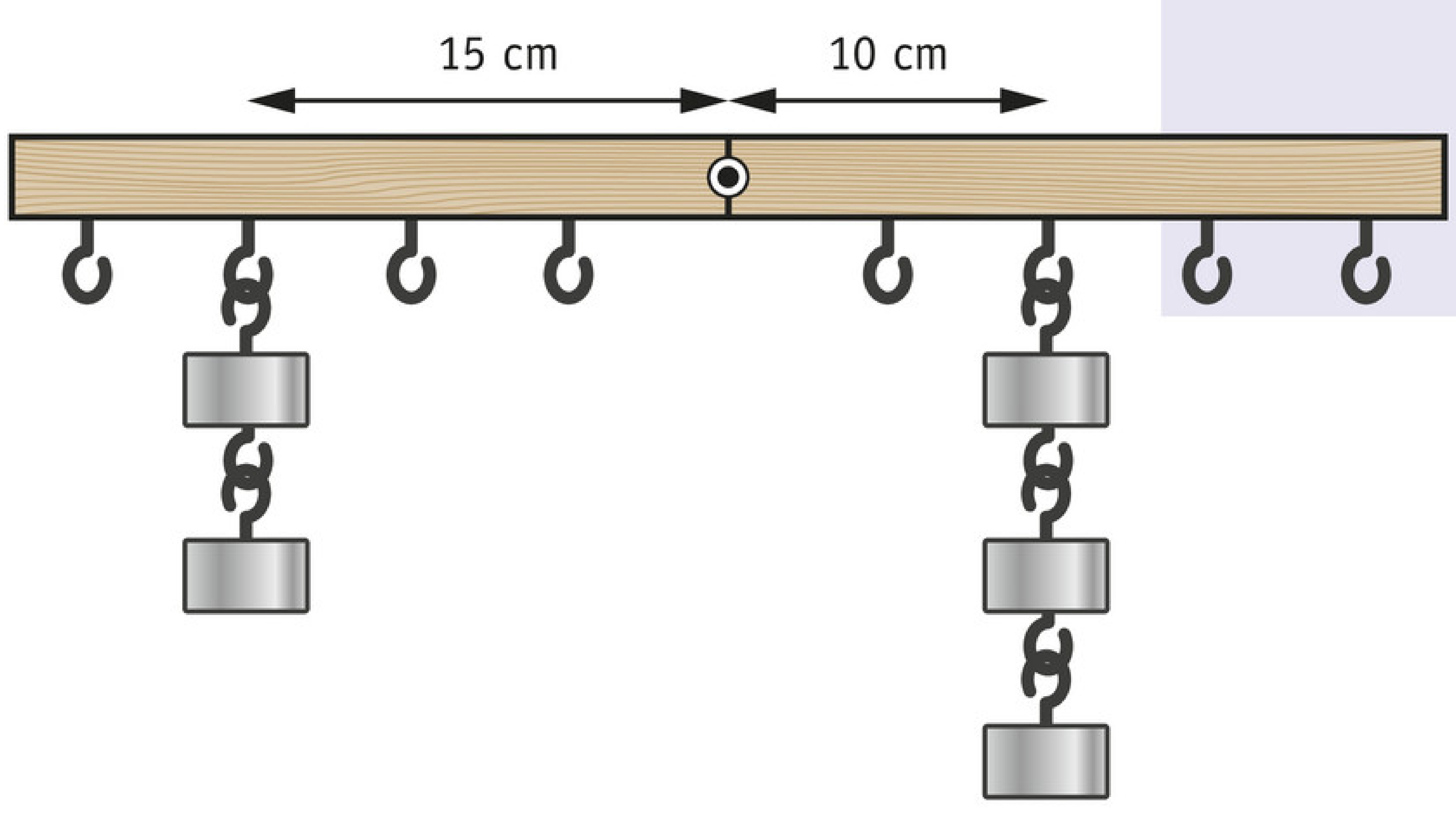
Ga met een berekening na of de hefboom in figuur 35 in evenwicht is. De gewichtjes zijn alle vijf even zwaar: 0,25 N.

gegevens
$F_1 = 2 \times 0{,}25 = 0{,}50$ N  $F_2 = 3 \times 0{,}25 = 0{,}75$ N
$r_1 = 15$ cm $= 0{,}15$ m  $r_2 = 10$ cm $= 0{,}10$ m

gevraagd
Is $M_1$ gelijk aan $M_2$?

uitwerking
$M_1 = F_1 \cdot r_1 = 0{,}50 \times 0{,}15 = 0{,}075$ Nm
$M_2 = F_2 \cdot r_2 = 0{,}75 \times 0{,}10 = 0{,}075$ Nm

$M_1 = M_2 = 0{,}075$ Nm. De hefboom is dus in evenwicht.

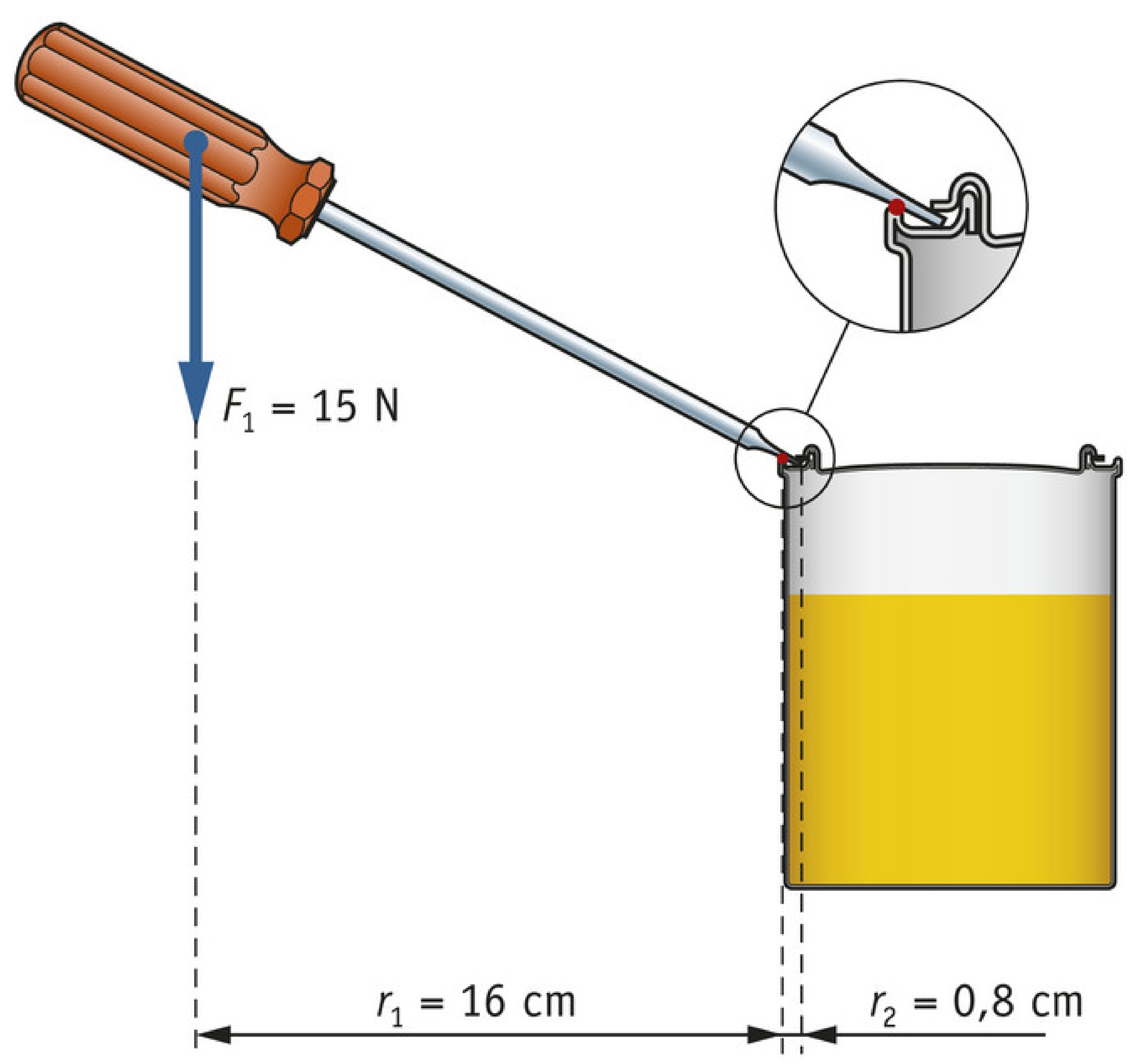



◀ figuur 35
Is de hefboom in evenwicht?

## Enkele en dubbele hefbomen

Je kunt de momentenwet toepassen op werktuigen, zoals de schroevendraaier in figuur 36. Je hand probeert de schroevendraaier linksom te laten draaien, met een kracht $F_1$. Het deksel verzet zich tegen die beweging, met een kracht $F_2$. De twee krachten $F_1$ en $F_2$ zijn het grootst, vlak voordat het deksel in beweging komt. Op dat moment is er evenwicht en zijn de beide momenten even groot. Dat betekent dat:

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$




▲ **figuur 36**
een verfblik openmaken met een hefboom

Uit de formule volgt dat $F_2$ (met zijn arm van 0,8 cm) 20× zo groot is als $F_1$ (met zijn arm van 16 cm). Op het deksel werkt daardoor een kracht van 300 N: 20× zo groot als jouw spierkracht van 15 N.

Op deze manier werken veel werktuigen: een kleine kracht met een grote arm maakt evenwicht met een grote kracht met een kleine arm. Dat zie je bij gewone hefbomen (zoals flesopeners, steeksleutels en bandenlichters) én bij dubbele hefbomen (zoals snoeischaren, notenkrakers en nijptangen).

***Voorbeeldopgave 5***

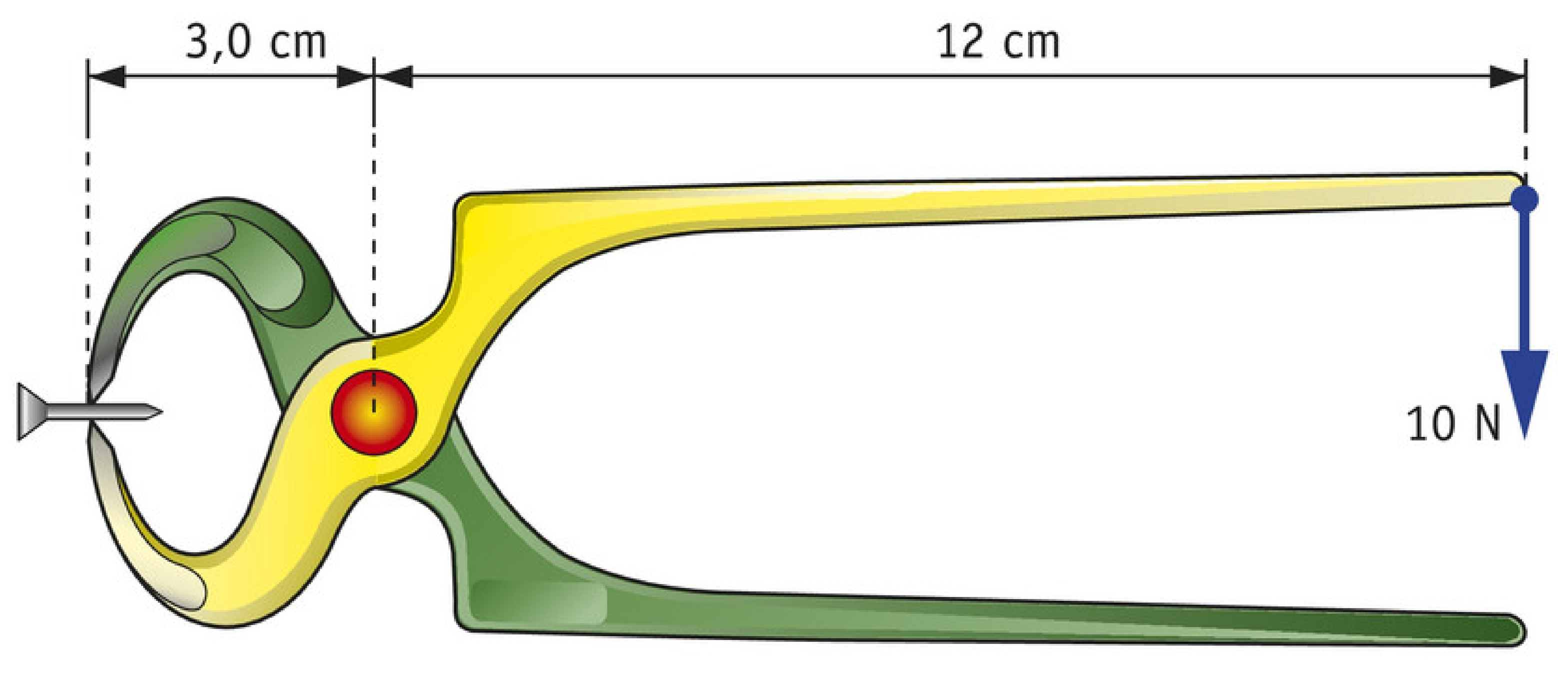
De nijptang in figuur 37 wordt dichtgeknepen met een spierkracht van (twee maal) 10 N.
Bereken de krachten op de spijker.

gevegens: $F_1 = 10$ N; $r_1 = 12$ cm; $F_2 = \ldots$ N; $r_2 = 3{,}0$ cm

gevraagd: $F_2 = ?$

uitwerking: Ga uit van evenwicht, dus:
$F_2 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$
$10 \times 12 = F_2 \times 3{,}0$
$F_2 = 120 : 3{,}0 = 40$ N

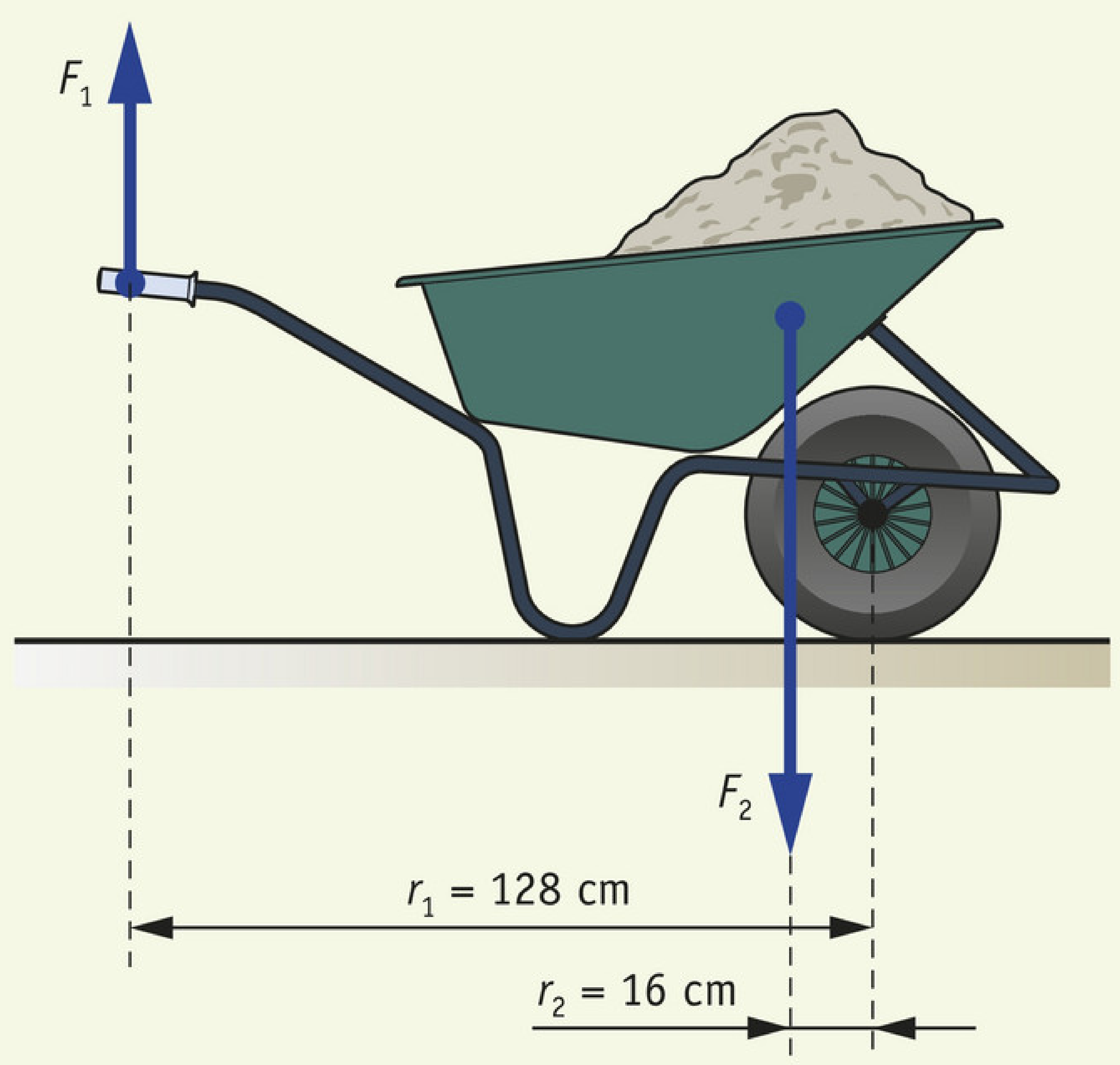
Op de spijker werkt dus een kracht van (twee maal) 40 N.




▶ **figuur 37**
Een nijptang bestaat uit twee hefbomen, hier geel en groen afgebeeld.

## Plus Hefbomen met het draaipunt aan een uiteinde

Bij veel hefbomen ligt het draaipunt tussen de twee krachten $F_1$ en $F_2$. Maar er zijn ook hefbomen waarbij het draaipunt aan een van de uiteinden zit. Dat zie je bij de kruiwagen in figuur 38. Het draaipunt (de as van het wiel) ligt rechts van de krachten $F_1$ en $F_2$. Ook op dit soort hefbomen kun je de hefboomregel toepassen. Let er wel op dat je de armen dan juist meet.




▲ **figuur 38**
de krachten op een kruiwagen

***Voorbeeldopgave 6***
Khair heeft 100 kg zand in de kruiwagen geschept. Nu wil hij de kruiwagen optillen.
Bereken de tilkracht die Khair moet uitoefenen.

| | | |
|---|---|---|
| gegevens | $F_1$ = ... N | $F_2 = m \cdot g = 100 \times 9{,}8 = 980$ N |
| | $r_1$ = 128 cm | $r_2$ = 16 cm |
| gevraagd | $F_1$ = ? | |
| uitwerking | Ga uit van evenwicht, dus: | |
| | $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ | |
| | $F_1 \times 128 = 980 \times 16$ | |
| | $F_2 = 15\,680 : 128 \approx 123$ N | |

Khair moet dus een kracht uitoefenen van 123 N (in werkelijkheid iets meer, omdat er geen rekening is gehouden met de zwaartekracht op de kruiwagen zelf).

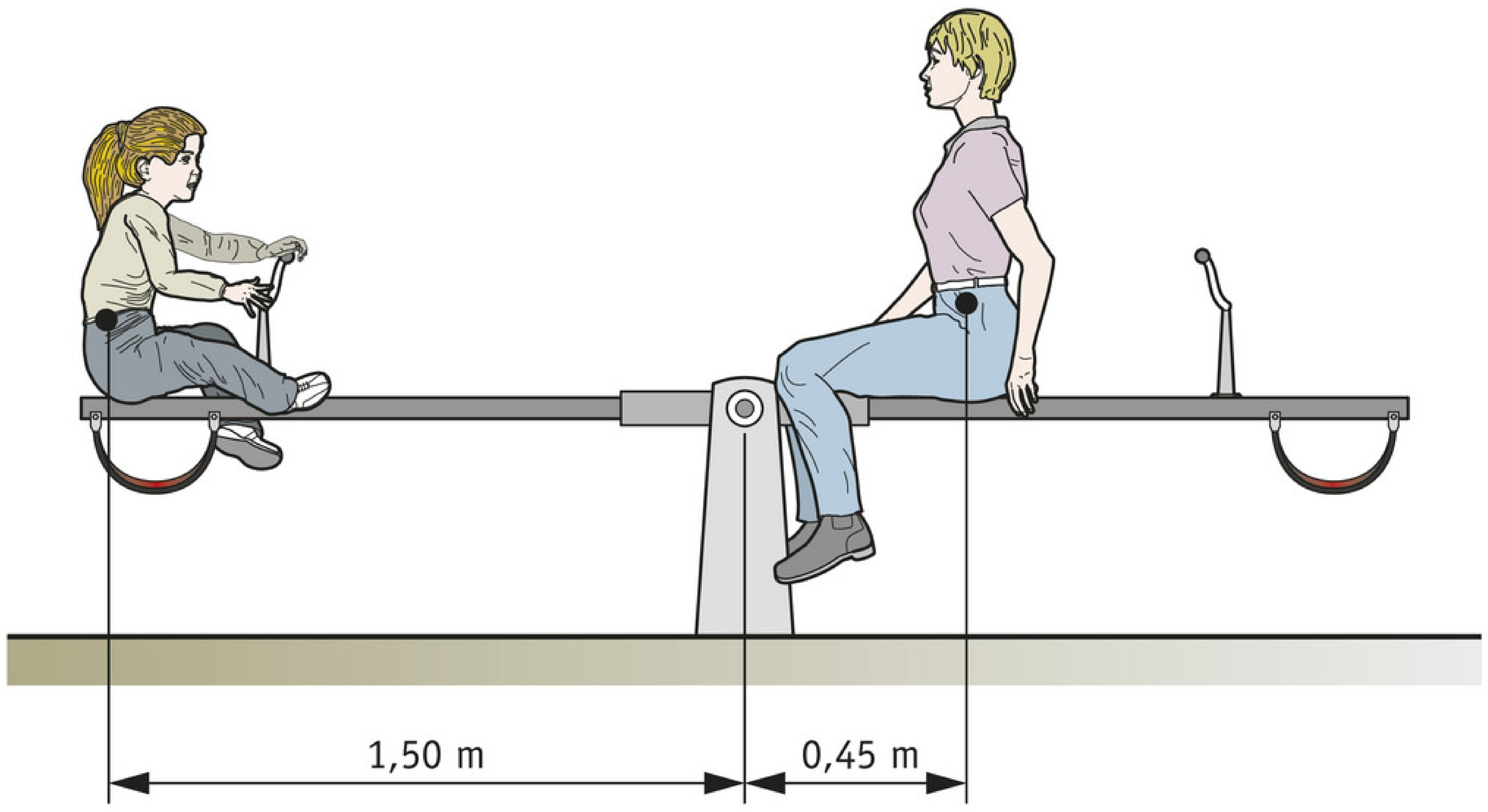
## opgaven Leerstof

**34** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Met welke formule kun je het moment van een kracht berekenen?
- **b** Hoe (in welke richting) wordt de arm van een kracht gemeten?
- **c** Hoe kun je bepalen of een hefboom wel of niet in evenwicht is?
- **d** Waarom worden hefbomen veel gebruikt in het dagelijks leven?

**35** Allerlei werktuigen maken gebruik van de hefboomwerking.
- **a** Noteer drie werktuigen die uit één hefboom bestaan.
- **b** Noteer drie werktuigen die uit twee hefbomen bestaan.

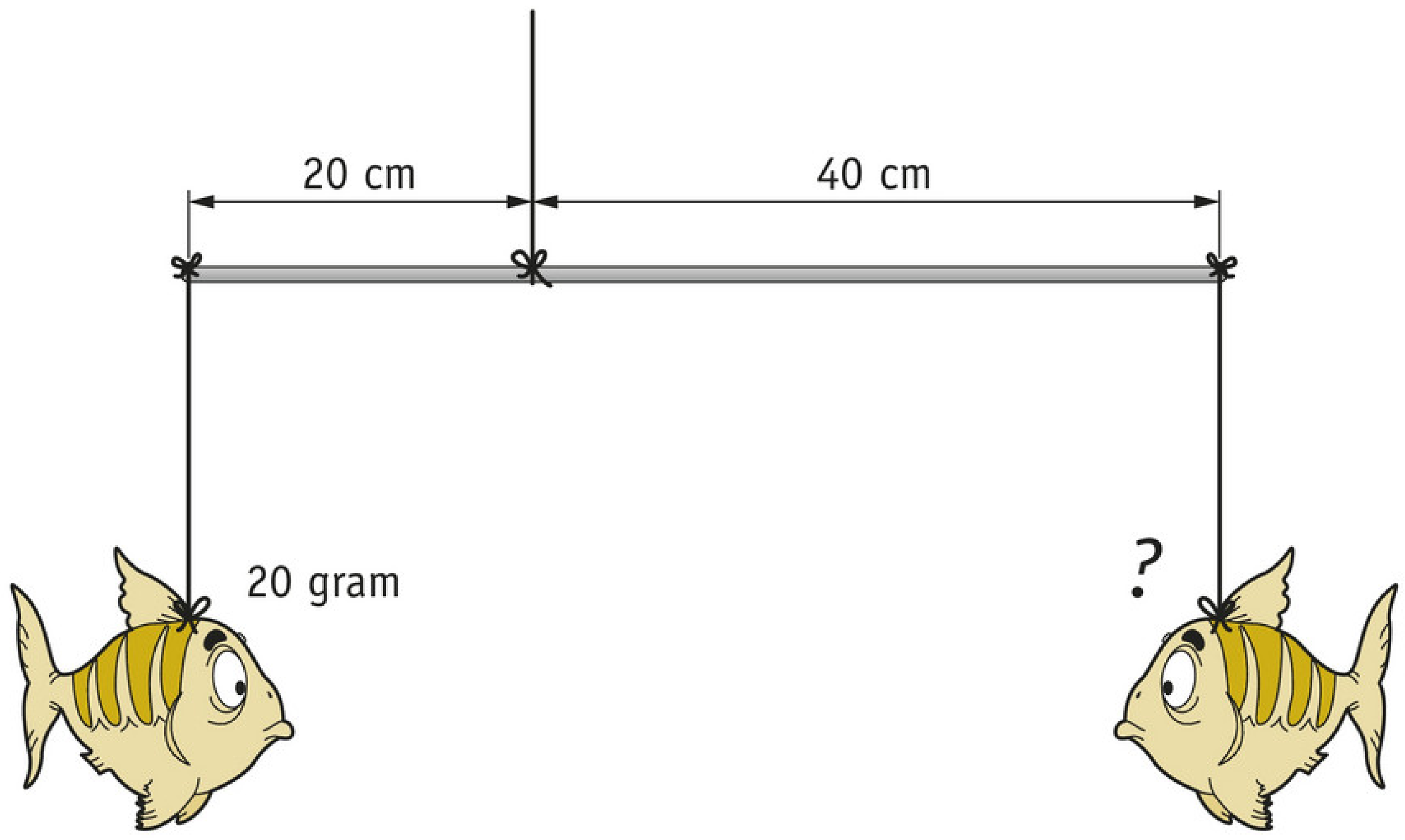
### Toepassing

**36** Lisette (26 kg) en haar moeder Anneke zitten op een wip (figuur 39). In de situatie op de foto is de wip in evenwicht.
- **a** Bereken de zwaartekracht op Lisette.
- **b** Bereken de zwaartekracht op Anneke. Tip: gebruik de momentenwet.
- **c** Bereken de massa van Anneke.



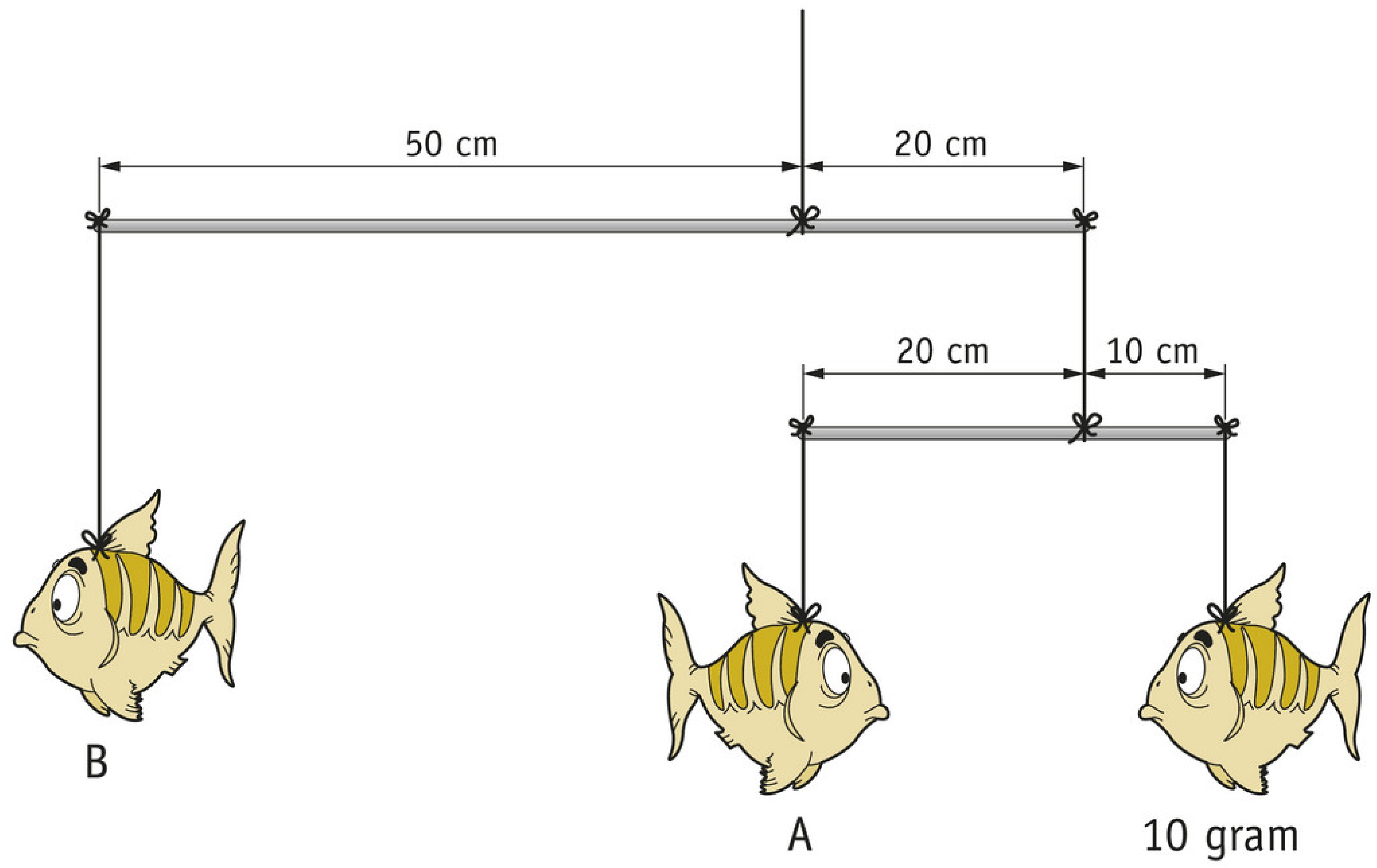

▶ **figuur 39**
een wip in evenwicht

**37** In figuur 40 is een mobiel getekend: een constructie met lichte latjes en figuurtjes die elkaar in evenwicht houden. Om de visjes de juiste massa te geven, zijn ze aan de achterkant verzwaard.
Bereken de massa van het rechtervisje. Je mag de massa van het stokje verwaarlozen.

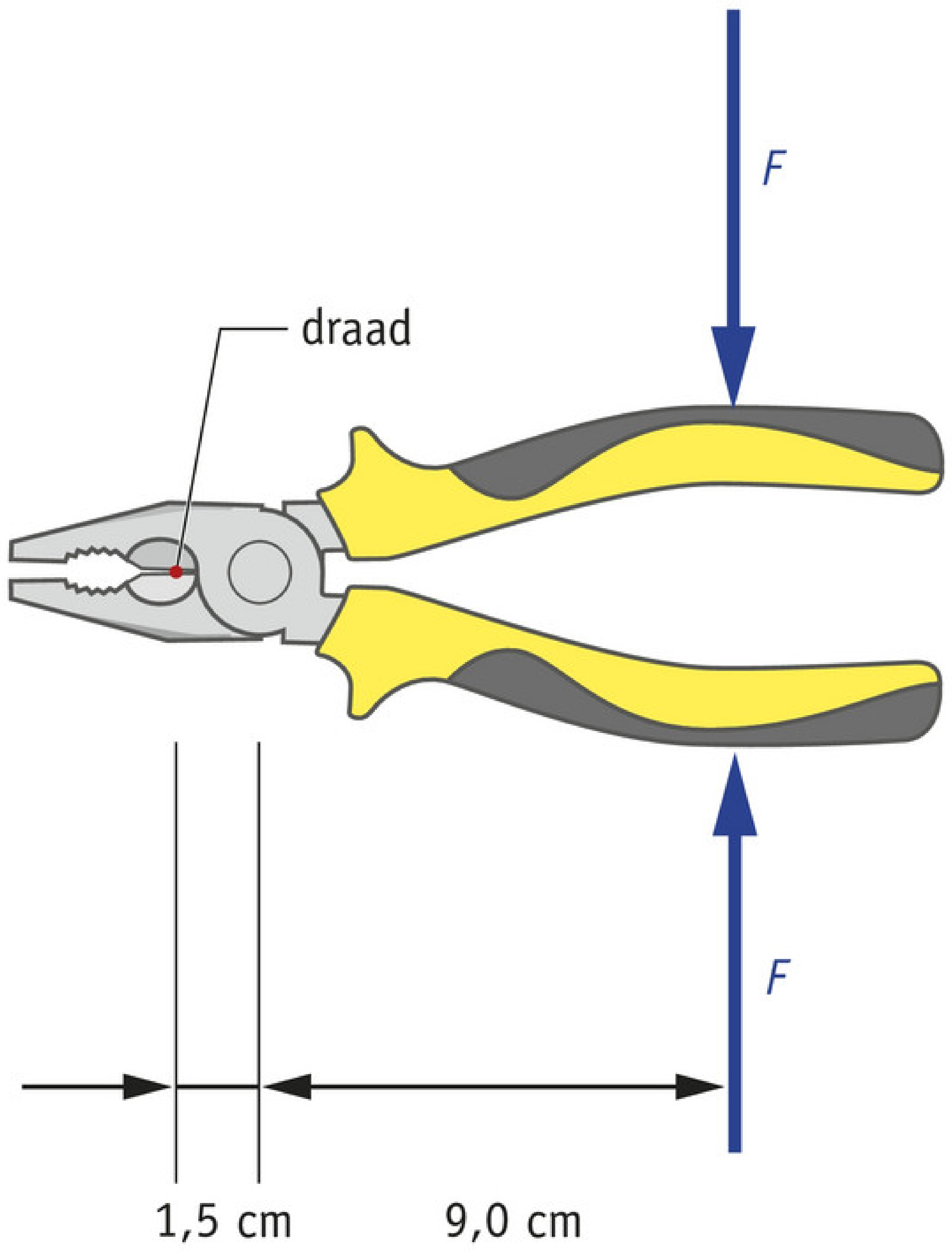



▶ **figuur 40**
een mobiel met twee visjes

**38** In figuur 41 zie je een andere, ingewikkelder mobile.
Bereken de massa's van de visjes A en B. Je mag de massa van de stokjes weer verwaarlozen.




▶ **figuur 41**
een mobiel met drie visjes




▲ **figuur 42**
een draad doorknippen met een combinatietang

**39** Bij deze opgave heb je werkblad 1-7 nodig.
Een kist heeft een deksel dat rondom is vastgespijkerd. Je kunt zo'n kist openmaken met een koevoet, zoals op het werkblad is getekend.

**a** Geef met een rode stip aan waar het draaipunt van de koevoet zich bevindt.

**b** Teken in welke richting de spierkracht op de koevoet werkt. Het aangrijpingspunt is al getekend.

**c** Meet de afstand:
- tussen de spierkracht en het draaipunt.
- tussen de kracht op het deksel en het draaipunt.

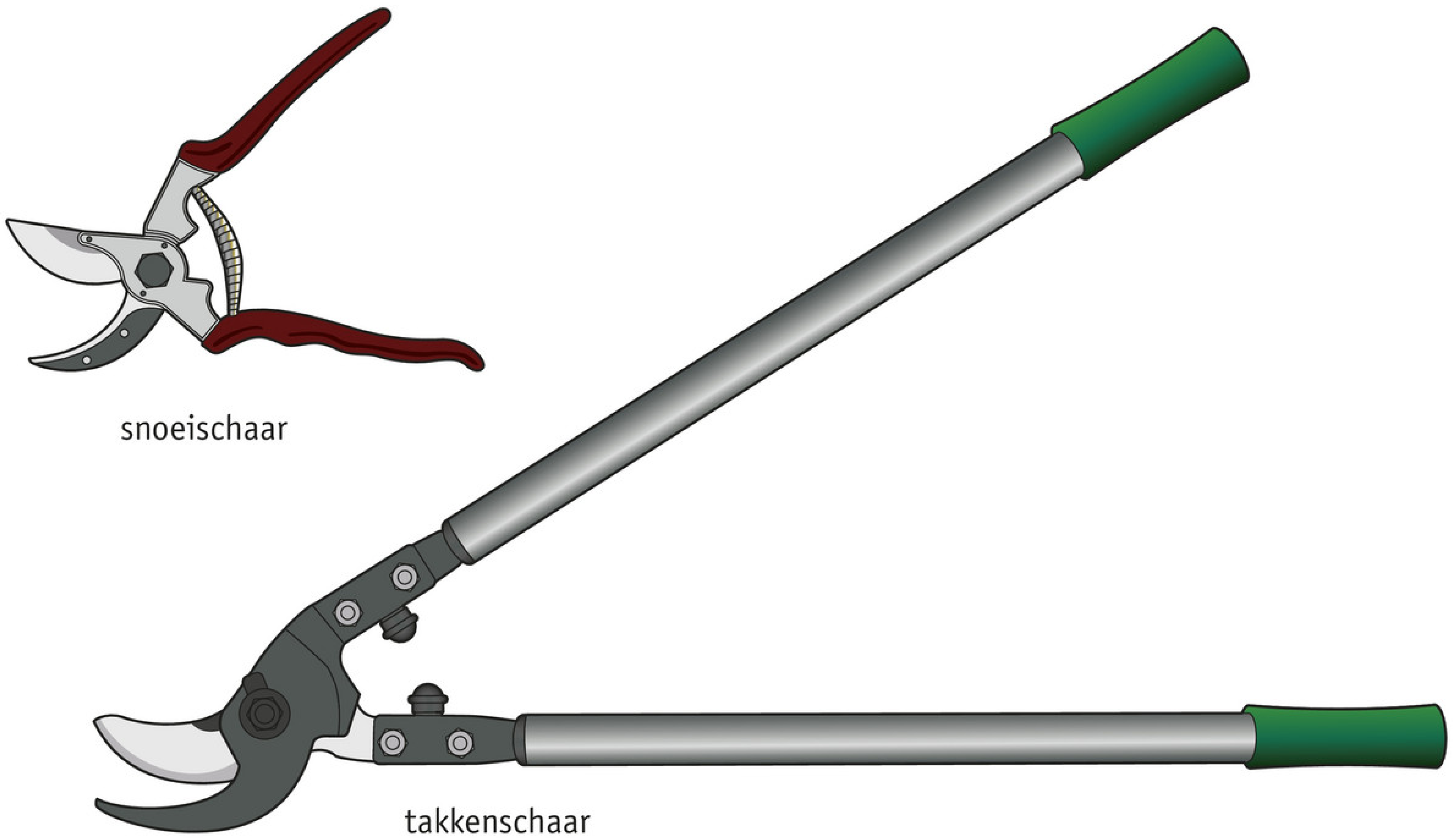
**d** Om het deksel omhoog te laten bewegen, is een kracht van 750 N nodig.
Bereken hoeveel (spier)kracht je daarvoor op de koevoet moet uitoefenen.

**40** Wilfred knipt een ijzerdraad door met een combinatietang (figuur 42). De tang oefent daarbij twee krachten van 95 N uit op de draad.
Bereken met welke spierkracht *F* Wilfred de handvatten heeft dicht-geknepen.

**41** Met de takkenschaar kan Wendy dikke takken gemakkelijker doorknippen dan met de snoeischaar (figuur 43).

**a** Leg uit hoe dat komt.

**b** Bij de snoeischaar is de kracht op een tak ongeveer 4× zo groot als de spierkracht op de handvatten.
Beredeneer hoeveel keer de takkenschaar je spierkracht vergroot.




▶ **figuur 43**
Ook bij tuingereedschap vind je veel hefbomen.

***42** In figuur 44 zie je de stemknoppen van een elektrische gitaar en van een basgitaar.
**a** Laat met een schets zien dat zo'n stemknop werkt als een hefboom.
**b** Geef in je schets aan hoe groot de arm van de spierkracht is.
**c** Leg uit waarom de basgitaar extra grote stemknoppen heeft.

▼ **figuur 44**
de stemknoppen van een elektrische gitaar (a) en een basgitaar (b)

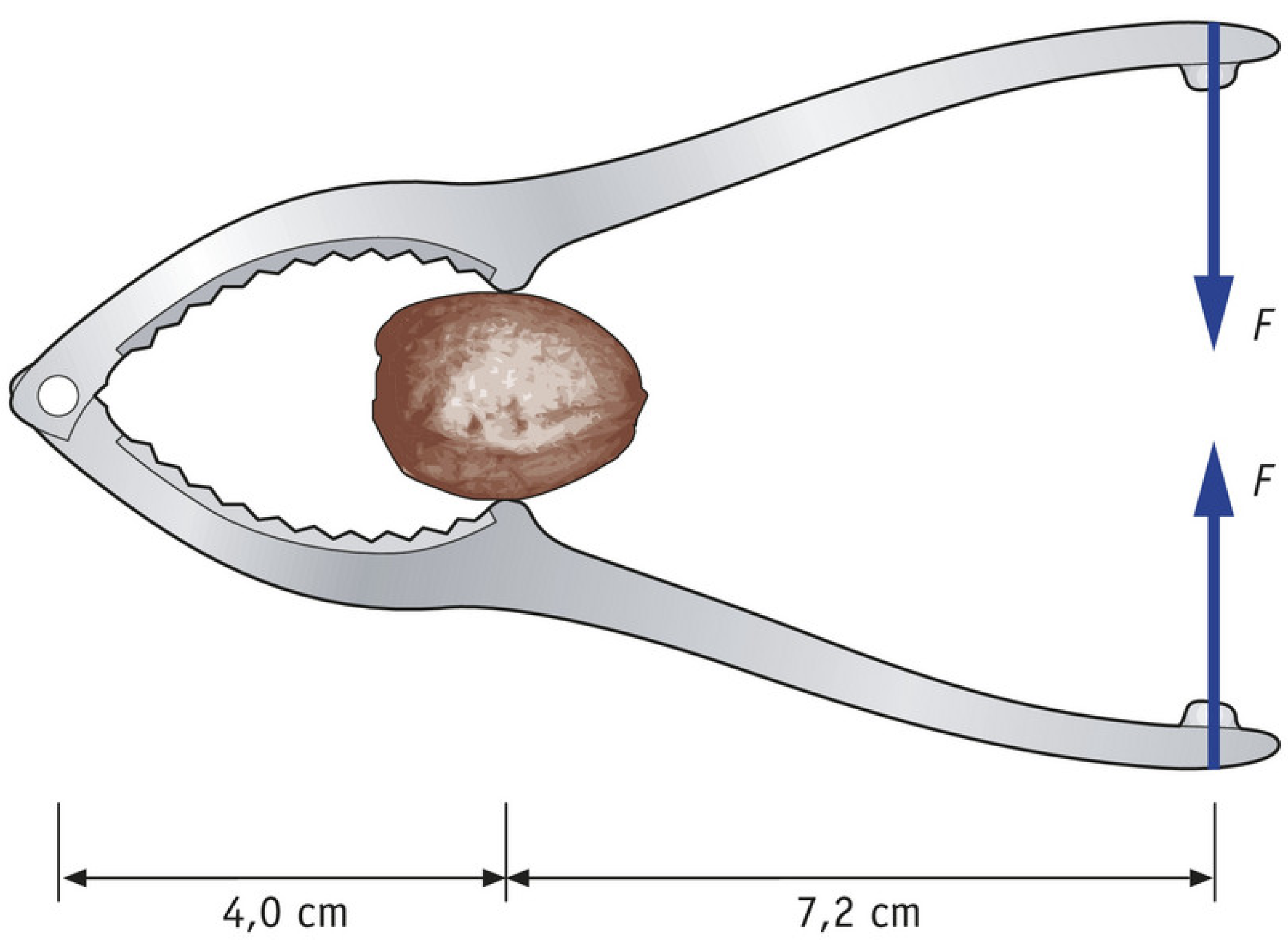






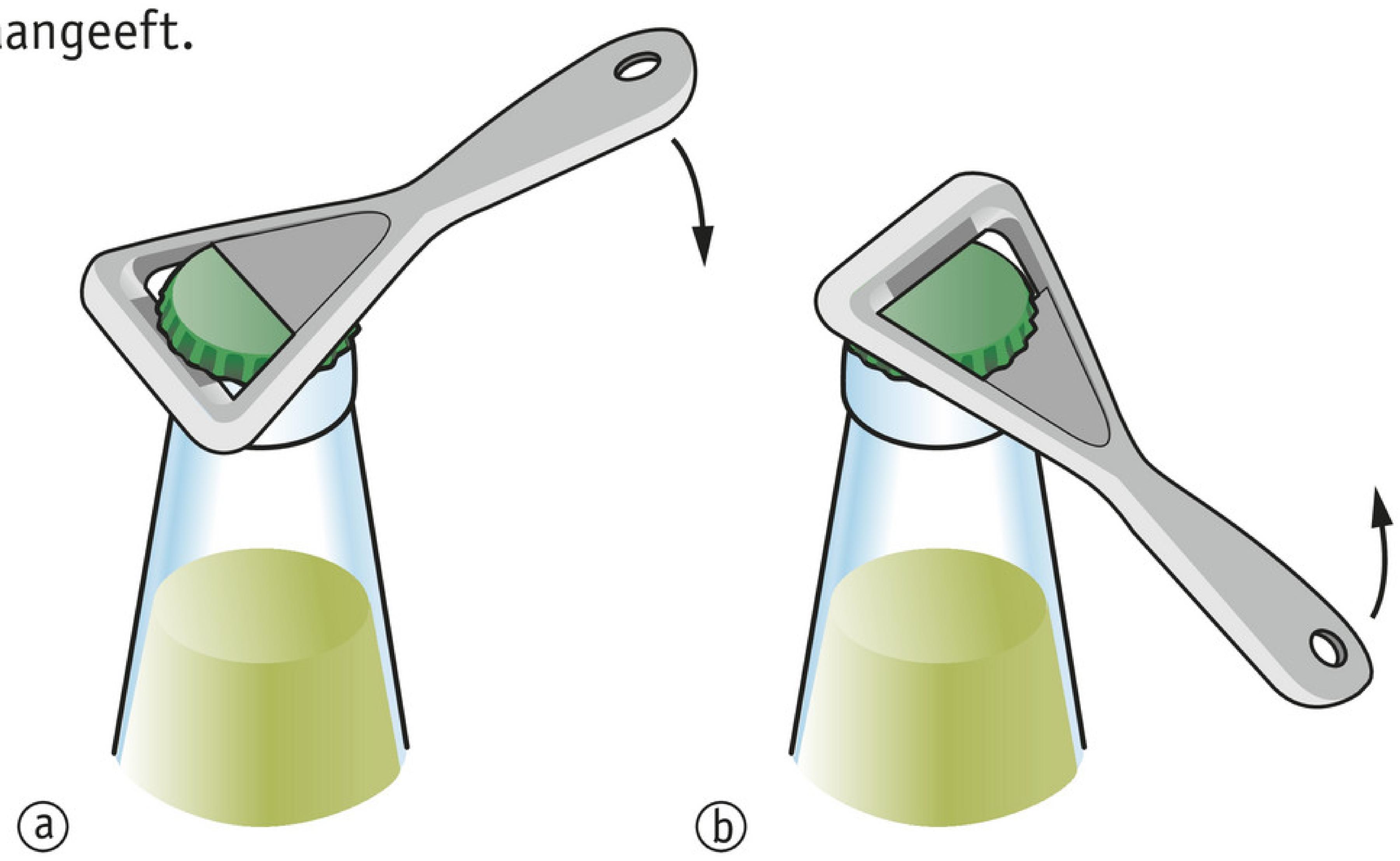
## Plus Hefbomen met het draaipunt aan een uiteinde

**43** Henk-Jan kraakt een walnoot met een notenkraker (figuur 45). Hij oefent een kracht van 15 N uit op de beide handvatten.
Bereken hoe groot de kracht op de walnoot wordt.



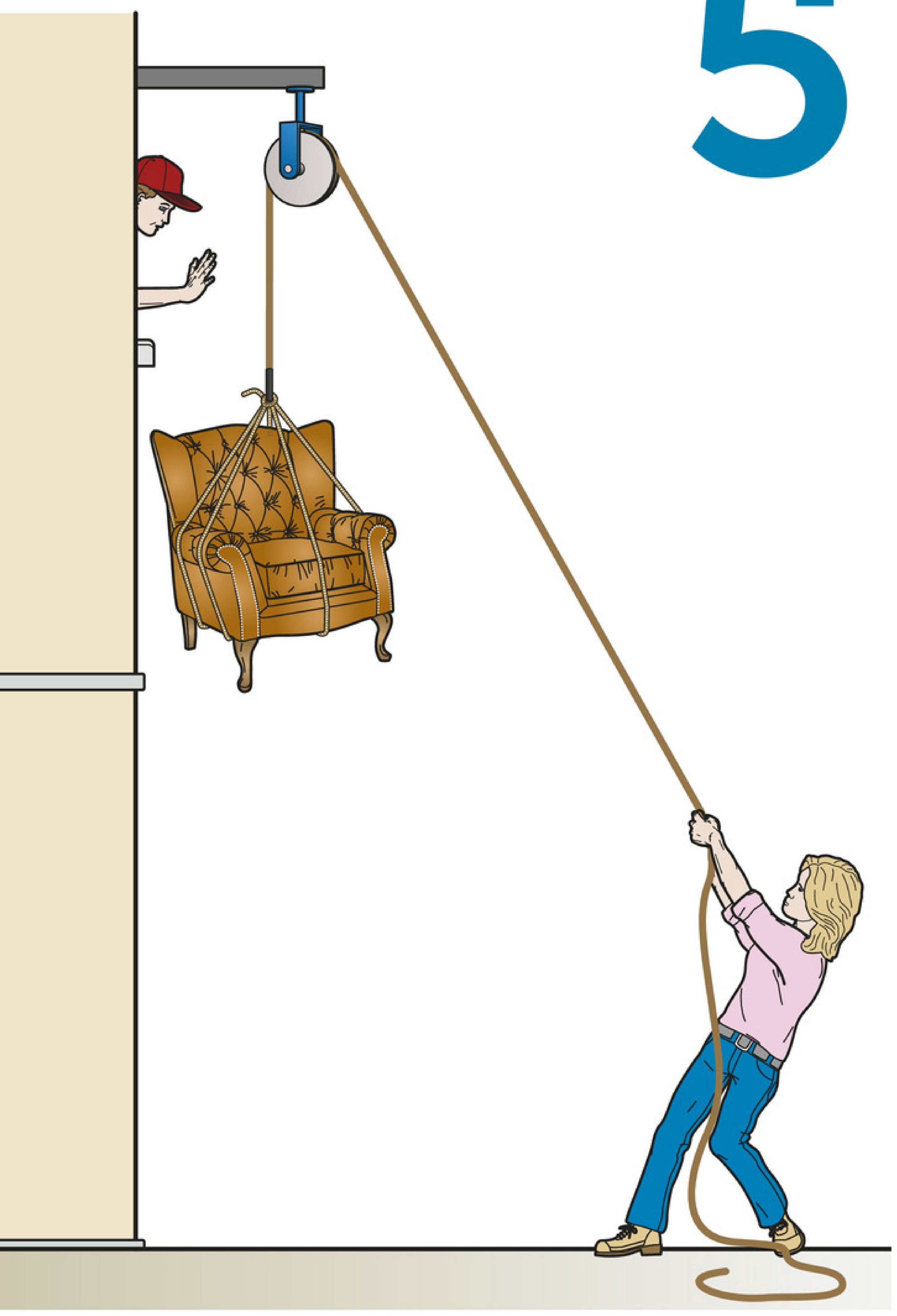

▶ **figuur 45**
een noot kraken

***44** Je kunt een flessenopener op twee manieren gebruiken om een fles te openen (figuur 46).
Beredeneer bij welke manier je de minste spierkracht nodig hebt. Tip: maak een schets waarin je de draaipunten en de armen van de krachten aangeeft.




▶ **figuur 46**
Op welke manier kun je het flesje het gemakkelijkst openmaken?

# 5 Krachten overbrengen



▲ figuur 47
hijsen met een vaste katrol

**Met een touw kun je krachten overbrengen. Daarvoor moet je het touw vastmaken aan een voorwerp. Als je daarna aan het losse uiteinde trekt, spant het touw zich. Je spierkracht wordt daardoor overgebracht op het voorwerp aan het andere uiteinde. Op die manier kun je het voorwerp vooruit trekken of omhoog hijsen.**

## De vaste katrol

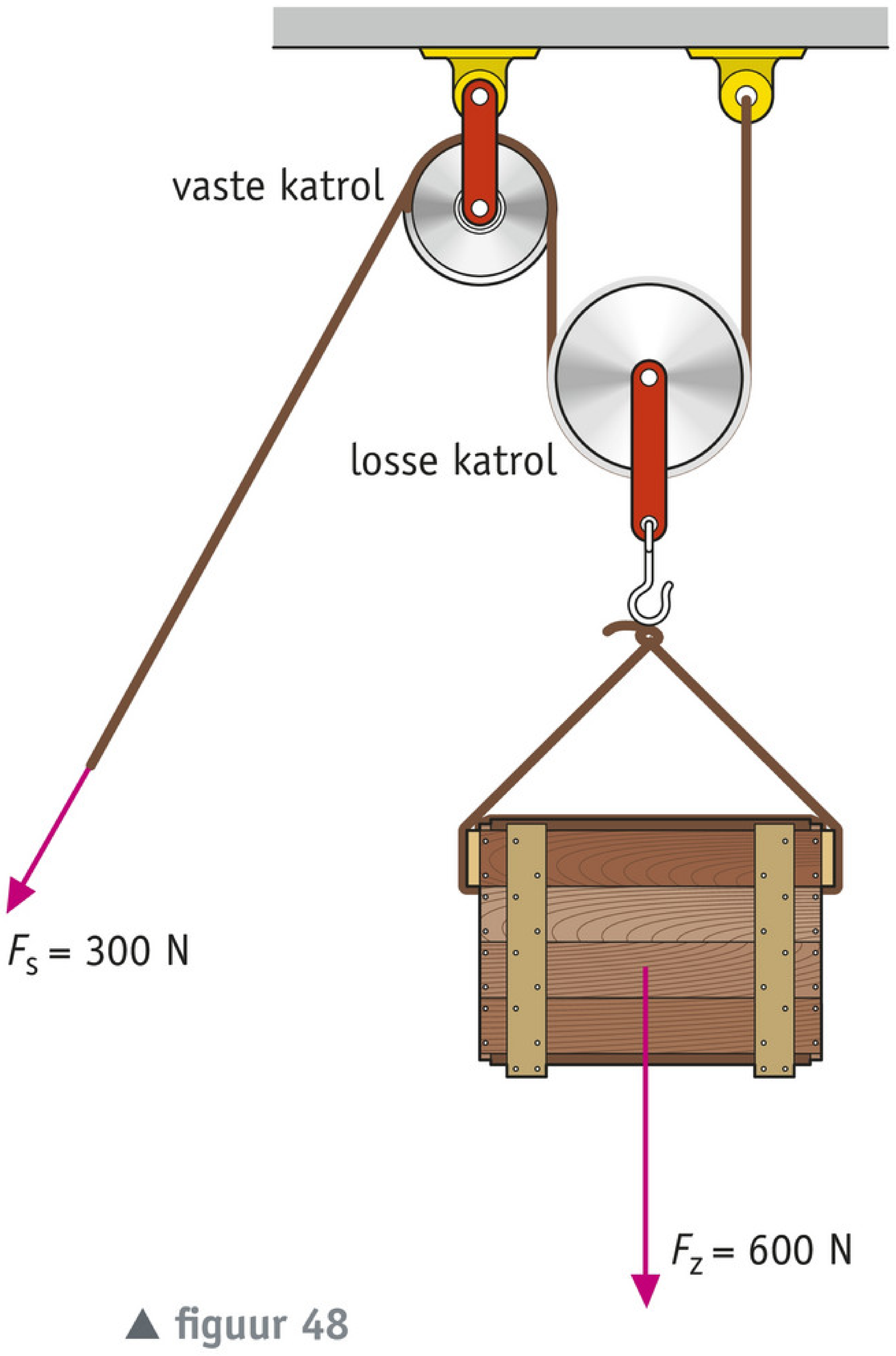
In figuur 47 zie je hoe een stoel van 20 kg omhoog wordt gehesen. Het touw loopt hierbij over een **vaste katrol**. Dat is een katrol die vastzit op één plaats en niet op en neer kan bewegen. Om de stoel omhoog te hijsen, moet je met een kracht van 196 N aan het touw trekken. In het begin is de hijskracht iets groter dan 196 N – anders komt de stoel niet in beweging – maar dat kleine beetje extra kracht mag je verwaarlozen.

Tijdens het ophijsen verricht je de **arbeid**. Hoe groot die arbeid is, hangt af van twee dingen: de kracht waarmee je aan het touw trekt én de afstand waarover je het voorwerp verplaatst. Je kunt de grootte van de arbeid berekenen met de formule:

$$W = F \cdot s$$

Als je de kracht $F$ invult in N en de afstand $s$ in m, vind je de arbeid $W$ in newtonmeter (Nm).

Een vaste katrol zorgt er niet voor dat je minder hard aan het touw hoeft te trekken. Hij verandert alleen de richting van de kracht. Toch is zo'n katrol een nuttig hulpmiddel. Het is gemakkelijker om een touw naar beneden te trekken dan een voorwerp op te tillen: je kunt met je hele gewicht aan het touw gaan hangen.




▲ figuur 48
hijsen met een takel

## Hijsen met een takel Proef 4

Veel voorwerpen zijn zo zwaar dat je ze met een vaste katrol niet omhoog kunt hijsen. Denk bijvoorbeeld aan een piano die naar een zolderkamer gehesen moet worden. Ook al ga je met je hele gewicht aan het touw hangen, de piano komt niet van zijn plaats. In dit soort situaties heb je een **takel** nodig.

In figuur 48 is een takel getekend met één vaste en één **losse katrol**. Zo'n losse katrol beweegt op en neer, samen met het voorwerp dat wordt verplaatst. Het voorwerp hangt bij deze takel aan twee stukken touw: het ene uiteinde zit vast aan het plafond, het andere uiteinde heb je zelf in handen.



▲ figuur 49
Met deze takels kun je heel zware voorwerpen ophijsen.

De kist in figuur 48 heeft een massa van 60 kg. De last is dus 600 N. Toch hoef je maar met een kracht van 300 N aan het touw te trekken. Dat komt doordat de kist aan twee stukken touw hangt. Elk stuk touw levert een kracht van 300 N: het stuk touw links doordat jij eraan trekt, het stuk touw rechts doordat het aan het plafond is vastgemaakt. Samen leveren de twee stukken touw 600 N en dat is genoeg om de kist op te hijsen.

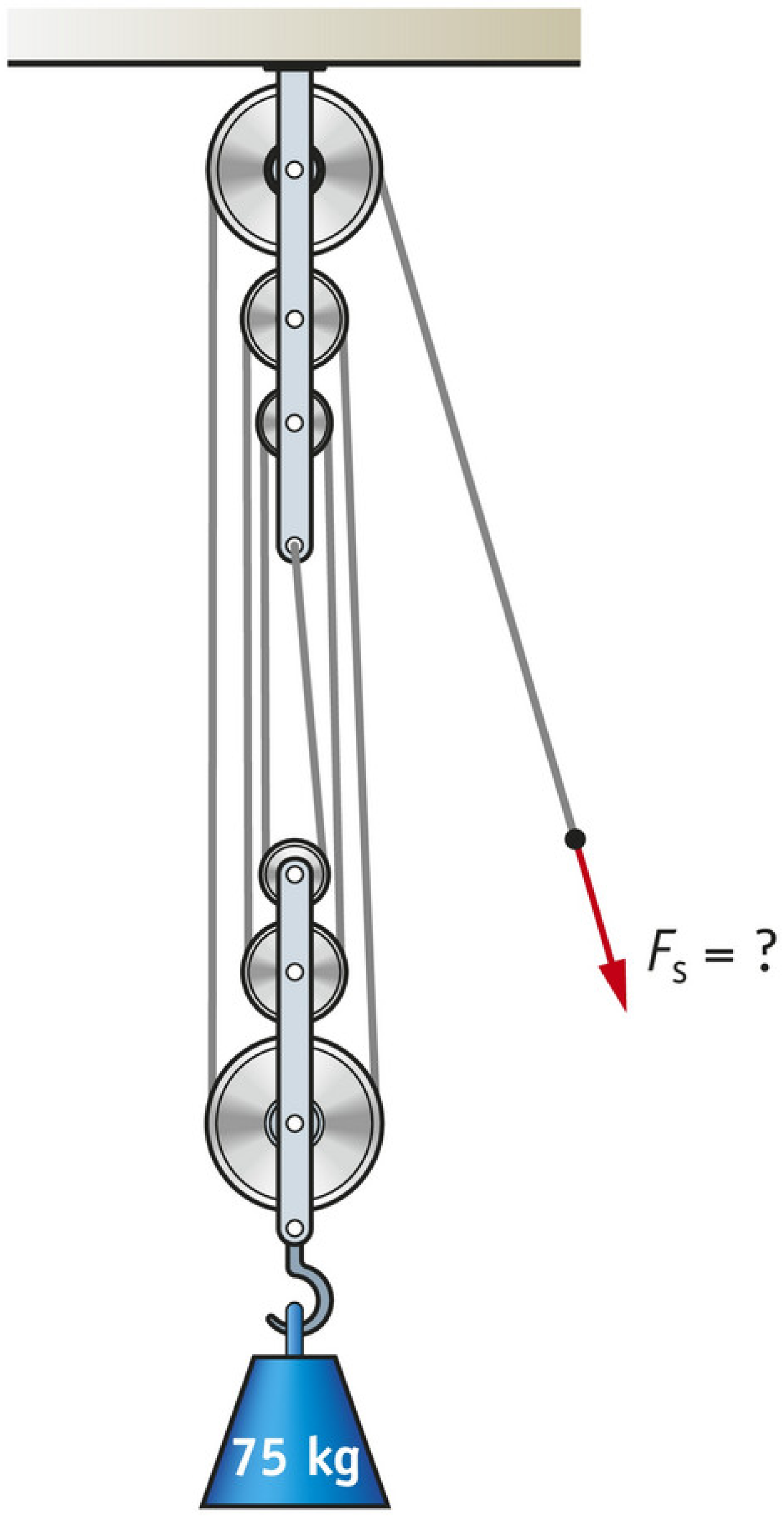
## Winst en verlies

De takel in figuur 48 maakt de **hijskracht** op het voorwerp 2× zo groot (vergeleken met de spierkracht op het touw): je hoeft maar met 300 N aan het touw te trekken om een voorwerp van 600 N omhoog te hijsen. Het ophijsen gaat daardoor veel gemakkelijker. Dat is de winst van de takel.

Maar er is ook een nadeel. De twee stukken touw waaraan de kist hangt, moeten allebei korter gemaakt worden. Daardoor gaat de kist maar 1,0 m omhoog, als je het touw 2,0 m naar beneden trekt. De **hijsafstand** wordt dus 2× zo klein. Dat is het verlies van de takel.

Veel takels hebben meer dan twee katrollen (figuur 49). Hoe groter het aantal katrollen, des te groter wordt de hijskracht en des te kleiner de hijsafstand. Voor elke takel geldt:

Als het voorwerp aan $N$ stukken touw hangt, wordt de hijskracht $N$× zo groot en de hijsafstand $N$× zo klein.




▲ figuur 50
de takel van Alfons

***Voorbeeldopgave 7***
Alfons gebruikt de takel van figuur 50 om een voorwerp van 75 kg 8,0 m omhoog te hijsen.
Bereken hoe hard Alfons aan het touw moet trekken en hoeveel meter touw hij moet inhalen.

gegevens — Het voorwerp hangt aan zes stukken touw, dus $N = 6$.
$m = 75$ kg
$h = 8{,}0$ m

gevraagd — de benodigde spierkracht en het aantal meters touw

uitwerking
$F_z = m \cdot g$
$= 75 \times 9{,}8$
$= 735$ N

De benodigde spierkracht is $F_z : N = 735 : 6 \approx 123$ N.
Het aantal meters touw is $h \cdot N = 8{,}0 \times 6 = 48$ m.

### De arbeid blijft constant

Het maakt voor de hoeveelheid arbeid niet uit of je iets ‘gewoon’ optilt of dat je een takel gebruikt. Als je de kracht (bij de takel *N*× zo groot) vermenigvuldigt met de afstand (bij de takel *N*× zo klein), komt er in beide gevallen hetzelfde antwoord uit.

Een voorbeeld. Als Alfons in voorbeeldopgave 7 een vaste katrol had gebruikt, had je de arbeid zo berekend:

$W = F \cdot s = 735 \times 8{,}0 = 5880$ Nm

In werkelijkheid heeft hij een takel met $N = 6$ gebruikt. De berekening wordt dan:

$W = F \cdot s = 122{,}5 \times 48 = 5880$ Nm

Zoals je ziet, is de hoeveelheid arbeid in beide gevallen even groot: 5880 Nm. De takel maakt het alleen gemakkelijker om die arbeid te verrichten.

## Plus Hefwerktuigen

Veel voorwerpen zijn te zwaar om gewoon op te tillen. Als je ze toch omhoog wilt krijgen, heb je een hulpmiddel nodig, zoals een krik, een takel of een hellend vlak. Voor dit soort **hefwerktuigen** geldt dat ze wel de benodigde kracht verminderen, maar niet de hoeveelheid arbeid: die blijft even groot. Met andere woorden:

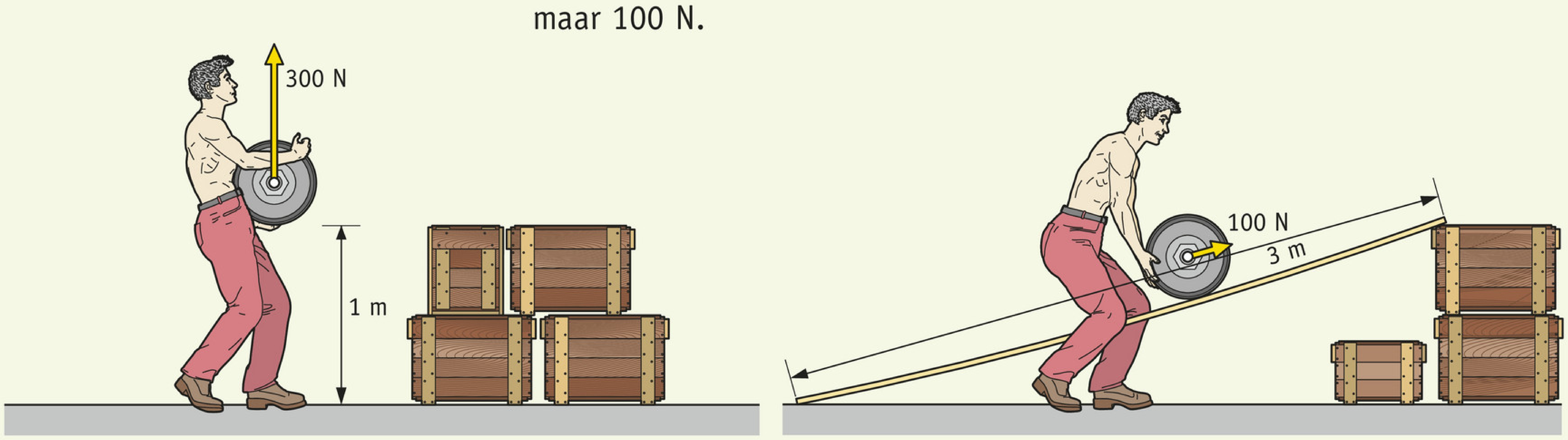
> Als een hefwerktuig de benodigde kracht *N*× zo klein maakt, wordt de af te leggen afstand *N*× zo groot.

En omgekeerd:

> Als een hefwerktuig de af te leggen afstand *N*× zo groot maakt, wordt de benodigde kracht *N*× zo klein.

Het hellend vlak in figuur 51 maakt de afstand bijvoorbeeld 3× zo groot. Dat betekent dat de benodigde kracht 3× zo klein wordt: niet 300 N, maar 100 N.

▼ **figuur 51**
Wat zou jij doen: gewoon tillen of een hellend vlak gebruiken?



opgaven

## Leerstof

**45** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe groot moet de hijskracht zijn om een voorwerp van 20 kg op te hijsen?
- **b** Met welke formule kun je de arbeid berekenen die je bij het ophijsen verricht?
- **c** Wat is het verschil tussen een vaste katrol en een losse katrol? Maak een schets.
- **d** Op welke manier kun je bepalen hoeveel keer een takel de hijskracht vergroot?

**46** Als je een takel gebruikt om iets omhoog te brengen, boek je tegelijkertijd winst en verlies.
- **a** Wat is de winst die je met een takel behaalt?
- **b** Wat is het verlies dat daar tegenover staat?
- **c** Wat blijft er constant als je een takel gebruikt?

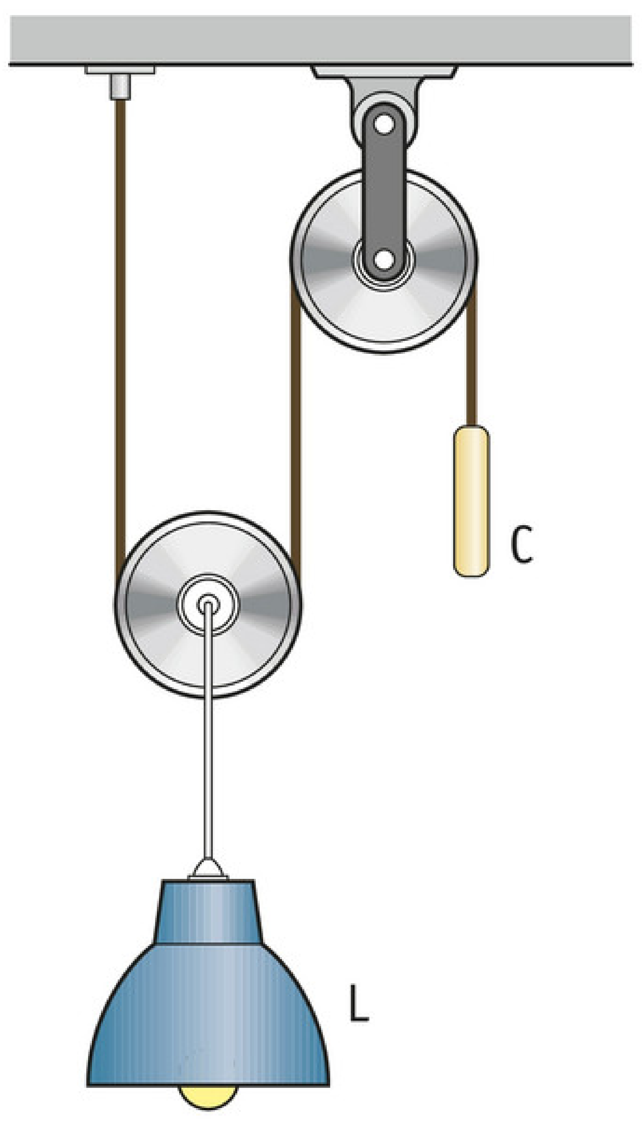
## Toepassing

**47** Robbert (86 kg) verhuist naar een appartement op de derde verdieping van een oud pakhuis. Hij gebruikt een vaste katrol om zijn meubels omhoog te takelen.
- **a** Hoe groot is de maximale trekkracht die Robbert op het touw kan uitoefenen? Leg uit hoe je aan je antwoord komt.
- **b** Tijdens het hijsen loopt Robbert een paar stappen achteruit. Het touw waaraan hij trekt, komt daardoor schuin te staan.
  Verandert de kracht die Robert op het touw moet uitoefenen, daardoor ook?

**48** Bereken de arbeid die in de volgende situaties wordt verricht.
- **a** Jan raapt een lucifersdoosje op van de grond en legt het op tafel. De massa van het doosje is 10 g, de tafel is 78 cm hoog.
- **b** Floor zet haar fiets op de imperiaal van de auto. De massa van de fiets is 26 kg, de imperiaal bevindt zich 1,45 m boven de grond.
- **c** De kraan van een autosloopbedrijf tilt een autowrak 3,5 m omhoog. De massa van het autowrak is 940 kg.
- **d** Een torenkraan hijst een vloerelement van beton naar een hoogte van 70 m. De massa van het vloerelement is 1350 kg.

**49** Een verhuizer hijst een stoel omhoog met behulp van een vaste katrol. De stoel heeft een massa van 12 kg en wordt 7,5 m omhoog gehesen.
- **a** Bereken hoe groot de benodigde spierkracht is.
- **b** Hoeveel meter touw moet de verhuizer inhalen?
- **c** Bereken hoeveel arbeid de verhuizer verricht.

**50** Vervolg van opgave 49.
Stel dat de verhuizer voor het ophijsen van de stoel een takel had gebruikt met één losse en één vaste katrol.
- **a** Hoe groot was de benodigde spierkracht dan geweest?
- **b** Hoeveel meter touw had de verhuizer dan moeten inhalen?
- **c** Bereken hoeveel arbeid de verhuizer zou hebben verricht.
- **d** Vergelijk je antwoorden bij opgave 49c en 50c. Wat valt je op?



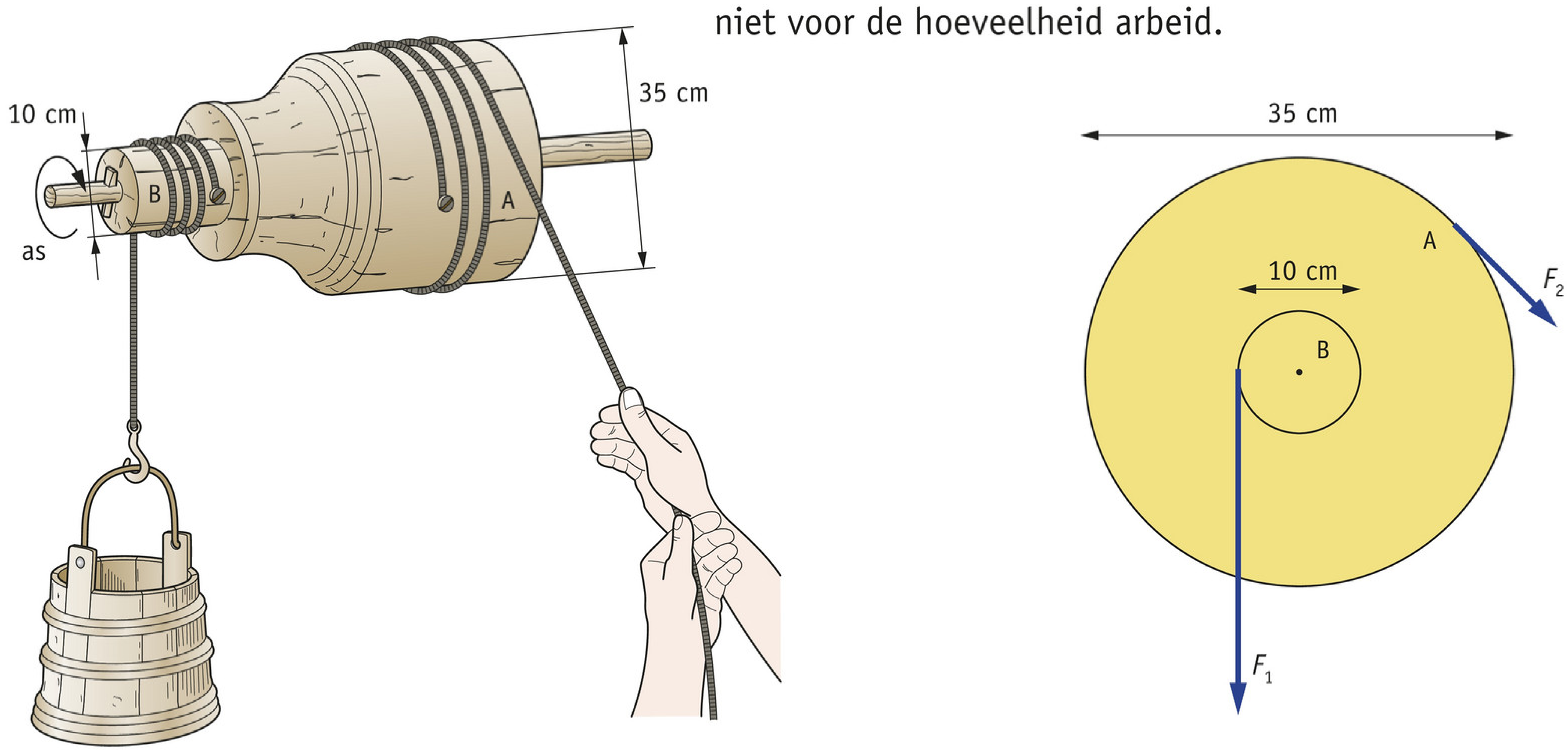

▲ **figuur 52**
een katrollamp

**51** Bij Marlies en Geert hangt een verstelbare katrollamp (figuur 52). De lamp heeft een massa van 1,5 kg. Je kunt de massa van de losse katrol en de wrijving in de katrollen verwaarlozen.
- **a** De cilinder C is zwaar genoeg om de lamp op zijn plaats te houden. Bereken de massa van de cilinder.
- **b** Marlies duwt de lamp 20 cm omhoog. Waarom heeft ze daar (bijna) geen kracht voor nodig?
- **c** Hoeveel centimeter gaat de metalen cilinder omlaag, als Marlies de lamp 20 cm omhoog duwt?

**52** Francien (22 kg) heeft met haar vader (79 kg) gewed dat ze hem in haar eentje kan optillen. Maar de vader van Francien weet niet dat ze een takel heeft geleend.
- **a** Hoeveel keer moet deze takel Franciens hijskracht vergroten?
- **b** Teken een eenvoudige takel waarmee Francien haar weddenschap kan winnen. Teken niet meer katrollen dan nodig is.

***53** Marijn gebruikt een windas om een emmer water omhoog te hijsen (figuur 53). De massa van de emmer met water is 10 kg.
- **a** Bereken met hoeveel kracht Marijn aan het touw moet trekken. Tip: bekijk de windas als een hefboom en gebruik de momentenwet.
- **b** Het touw bij A wordt 4,0 m ingehaald. Bereken hoeveel meter de emmer dan naar boven gaat.
- **c** Als de windas kapotgaat, moet Marijn de emmer aan een los touw omhoogtrekken. Laat zien dat dat wel verschil maakt voor de benodigde kracht, maar niet voor de hoeveelheid arbeid.

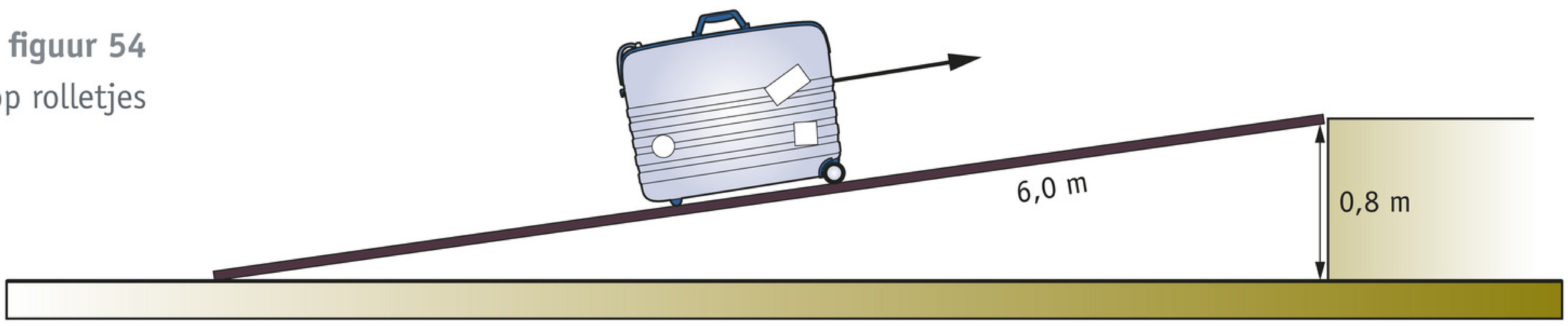
▼ **figuur 53**
een windas



## Plus Hefwerktuigen

**54** In de vertrekhal van een vliegveld trekt een reiziger zijn koffer met wieltjes tegen een helling omhoog (figuur 54). De helling is 6,0 m lang en 0,80 m hoog. De koffer heeft een massa van 20 kg. De wieltjes lopen zo soepel dat de wrijving te verwaarlozen is.
Bereken de arbeid die de reiziger moet verrichten om de koffer tegen de helling omhoog te trekken.

▶ **figuur 54**
een koffer op rolletjes




**55** Een ziekenhuisbed heeft een soort krik waarmee je het bed omhoog kunt krikken. Als je het pedaal van de krik 20 cm omlaag duwt, gaat het bed 3,0 cm omhoog.
Bij een bepaalde patiënt moet de verpleger een kracht van 165 N op het pedaal uitoefenen.

**a** Bereken de massa van het bed en de patiënt samen.
**b** De verpleger krikt het bed in totaal 30 cm omhoog.
Bereken hoeveel arbeid de verpleger daarbij verricht.

# Practicum

## Proef 1 Een spiraalveer uitrekken 30 min

### Inleiding

Een spiraalveer rekt uit als je er gewichtjes aan hangt. De uitrekking is het aantal centimeters waarmee de lengte van de veer toeneemt. Als een veer zonder gewichtjes 12,0 cm lang is en met gewichtjes 15,8 cm, dan is de uitrekking 3,8 cm.

### Doel

Je gaat onderzoeken hoe een spiraalveer uitrekt. De onderzoeksvraag is:
*Wat is het verband tussen de kracht en de uitrekking?*

### Nodig

- statiefmateriaal
- gewichtendrager
- gewichtjes
- spiraalveer
- liniaal
- werkblad 1-8

### Uitvoeren en uitwerken

- Bouw de opstelling die in figuur 55 getekend is.
- Hang de gewichtendrager zonder gewichtjes aan de veer.
- Noteer de plaats van de onderkant van de gewichtendrager (de nulstand).
- Leg achtereenvolgens een, twee, drie, enzovoort, gewichtjes op de gewichtendrager. Bepaal steeds de bijbehorende uitrekking van de veer (= stand – nulstand).

**1** Pak werkblad 1-8 erbij.
Noteer de massa van de gewichtjes, de kracht op de veer en de bijbehorende uitrekking in de tabel.

▼ **tabel 4** de meetgegevens van proef 1

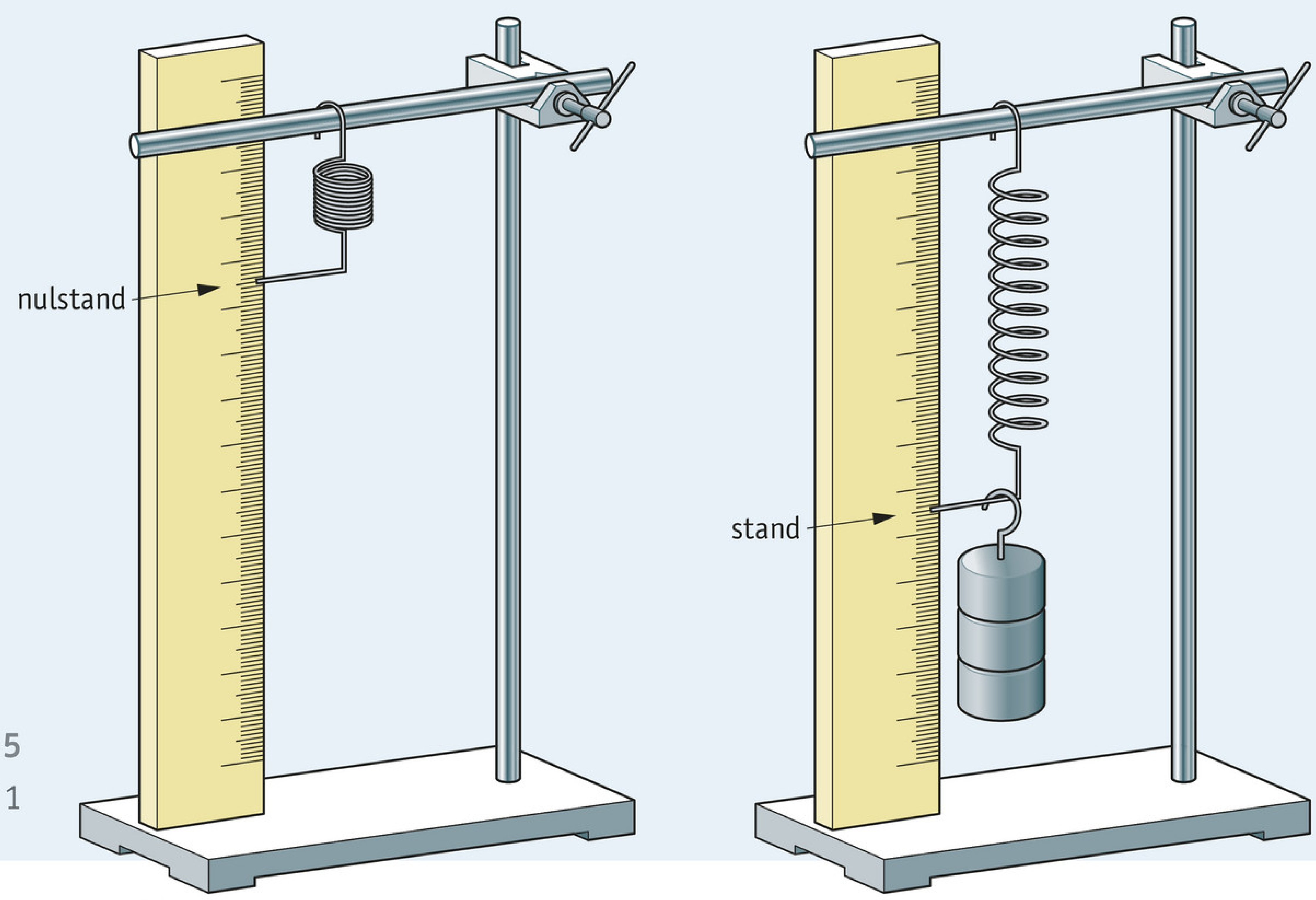
| aantal gewichtjes | massa gewichtjes (g) | kracht op de veer (N) | uitrekking (cm) |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| enzovoort | | | |

**2** Zie vaardigheid 7 achter in het boek.
Verwerk je meetresultaten tot een grafiek.

**3** Zie vaardigheid 8 achter in het boek.
Wat voor soort verband bestaat er tussen de kracht op een veer en de uitrekking?

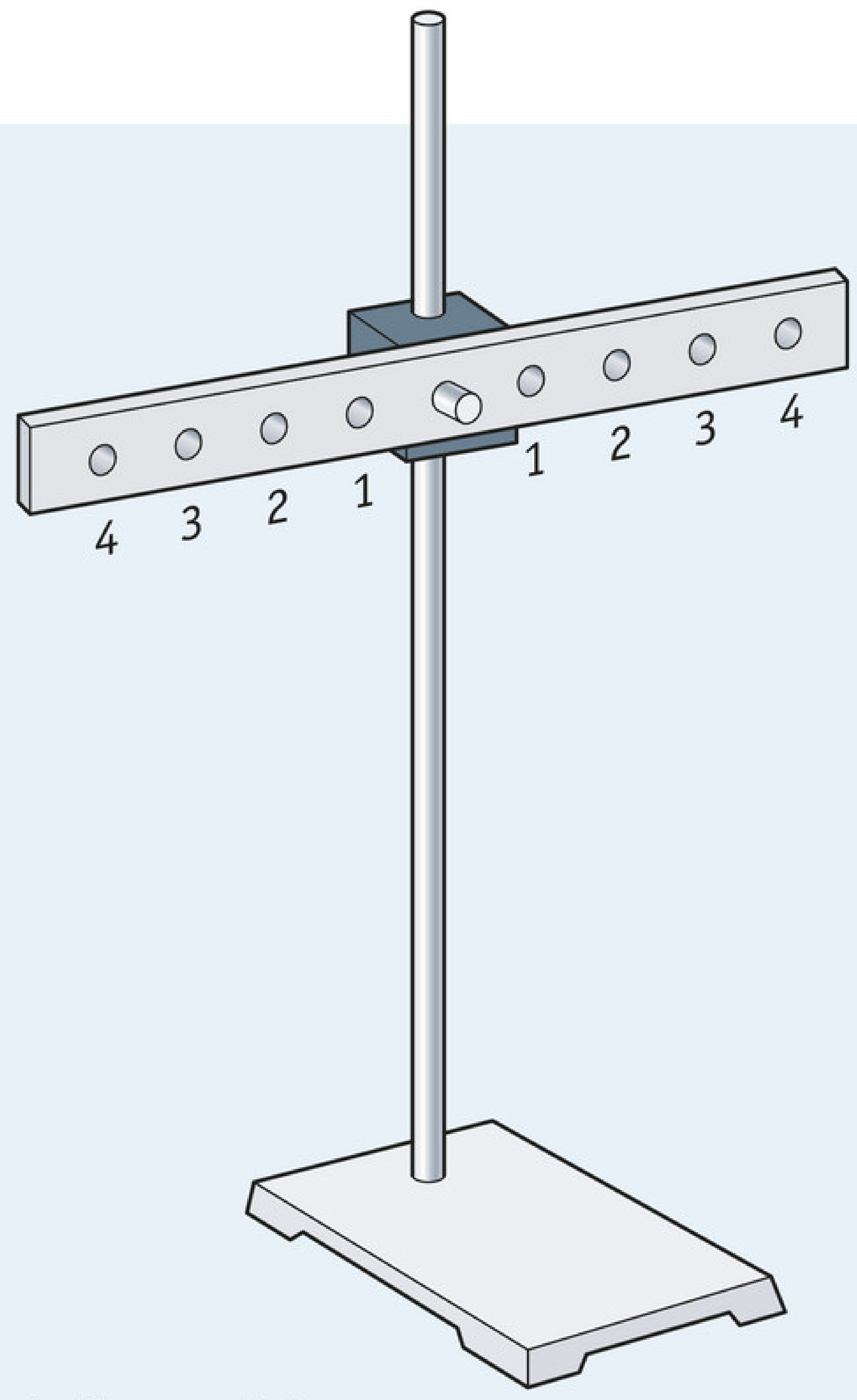
**4** Bepaal de veerconstante van de veer. Schrijf op hoe je dat gedaan hebt.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.




▶ **figuur 55**
de opstelling van proef 1

## Proef 2 Een regel voor evenwicht 30 min




▲ **figuur 56**
de opstelling van proef 2

### Inleiding

Hefbomen gebruik je elke dag. Flesopeners, steeksleutels, fietstrappers, deurkrukken, tangen, scharen: het zijn allemaal hefbomen. Zelfs voor zoiets eenvoudigs als het opendoen van een deur heb je al een hefboom nodig.

### Doel

Je gaat onderzoeken wanneer een hefboom in evenwicht is. De onderzoeksvraag is:
*Welke regel is er voor het evenwicht van een hefboom?*

### Nodig

- statiefmateriaal
- hefboom met gaatjes
- 8 gewichtjes

### Uitvoeren en uitwerken

– Maak de opstelling die in figuur 56 getekend is. Als de hefboom horizontaal hangt, is hij in evenwicht.
– Hang één gewichtje in gaatje 4 links van het ophangpunt; het evenwicht wordt dan verstoord.
– Breng de hefboom in evenwicht door gewichtjes te hangen in gaatje 1 rechts.

**1** Neem tabel 5 over in je schrift.
Noteer het aantal gewichtjes op de juiste plaats in de tabel.

▼ **tabel 5** de meetgegevens van proef 2

| linkerkant van de hefboom | rechterkant van de hefboom |
|---|---|
| 1 gewichtje in gaatje 4 | … gewichtjes in gaatje 1 |
| 1 gewichtje in gaatje 4 | … gewichtjes in gaatje 2 |
| 1 gewichtje in gaatje 4 | … gewichtjes in gaatje 4 |
| 2 gewichtjes in gaatje 3 | … gewichtjes in gaatje 1 |
| 2 gewichtjes in gaatje 3 | … gewichtjes in gaatje 2 |
| 2 gewichtjes in gaatje 3 | … gewichtjes in gaatje 3 |

– Haal de gewichtjes in gaatje 1 rechts weer weg.
– Hang gewichtjes in gaatje 2 rechts, tot er evenwicht is.

**2** Hoeveel gewichtjes zijn er nodig om evenwicht te maken?
Noteer dit aantal op de juiste plaats in de tabel.

– Bedenk zelf wat je moet doen om de rest van de tabel in te kunnen vullen.

**3** Noteer alle uitkomsten in de tabel.
**4** Welke regel kun je uit de tabel afleiden? Schrijf die regel in eigen woorden op.

## Proef 3 Voorspellen en controleren 20 min

**Inleiding**
Met behulp van de momentenwet kun je voorspellen of een hefboom in evenwicht is of niet.

**Doel**
Je gaat voorspellingen doen met de momentenwet en die voorspellingen controleren.

**Nodig**
- statiefmateriaal
- hefboom met gaatjes
- 9 gewichtjes

**Uitvoeren en uitwerken**
– Je gaat opnieuw aan het werk met de hefboom van figuur 56.

▼ **tabel 6** de zes situaties van proef 3

| linkerkant van de hefboom | rechterkant van de hefboom |
|---|---|
| 1 gewichtje in gaatje 2 | ... gewichtjes in gaatje 1 |
| 2 gewichtjes in gaatje 2 | ... gewichtjes in gaatje 1 |
| 3 gewichtjes in gaatje 2 | ... gewichtjes in gaatje 1 |
| 2 gewichtjes in gaatje 4 | ... gewichtjes in gaatje 2 |
| 1 gewichtje in gaatje 4 en 1 gewichtje in gaatje 2 | ... gewichtjes in gaatje 3 |
| 2 gewichtjes in gaatje 4 en 1 gewichtje in gaatje 1 | ... gewichtjes in gaatje 3 |

– In tabel 6 worden zes situaties beschreven. Bereken hoe je in elke situatie evenwicht kunt maken.

**1** Neem tabel 7 over in je schrift. Noteer het aantal benodigde gewichtjes met potlood in de tabel.

– Controleer je voorspellingen door proeven te doen.

**2** Welke uitkomsten had je goed voorspeld?

– Maak zo nodig een nieuwe berekening voor de uitkomsten die je niet goed had voorspeld.
– Controleer je nieuwe uitkomsten.

**3** Vul de tabel ten slotte definitief in met pen.

## Proef 4 Katrol en takel 20 min

**Inleiding**
Een voorwerp dat veel te zwaar is om op te tillen, kun je met een takel eenvoudig ophijsen. Dat lukt zelfs met voorwerpen die een grotere massa hebben dan jezelf.

**Doel**
Je gaat onderzoeken hoe een vaste katrol en een takel werken.

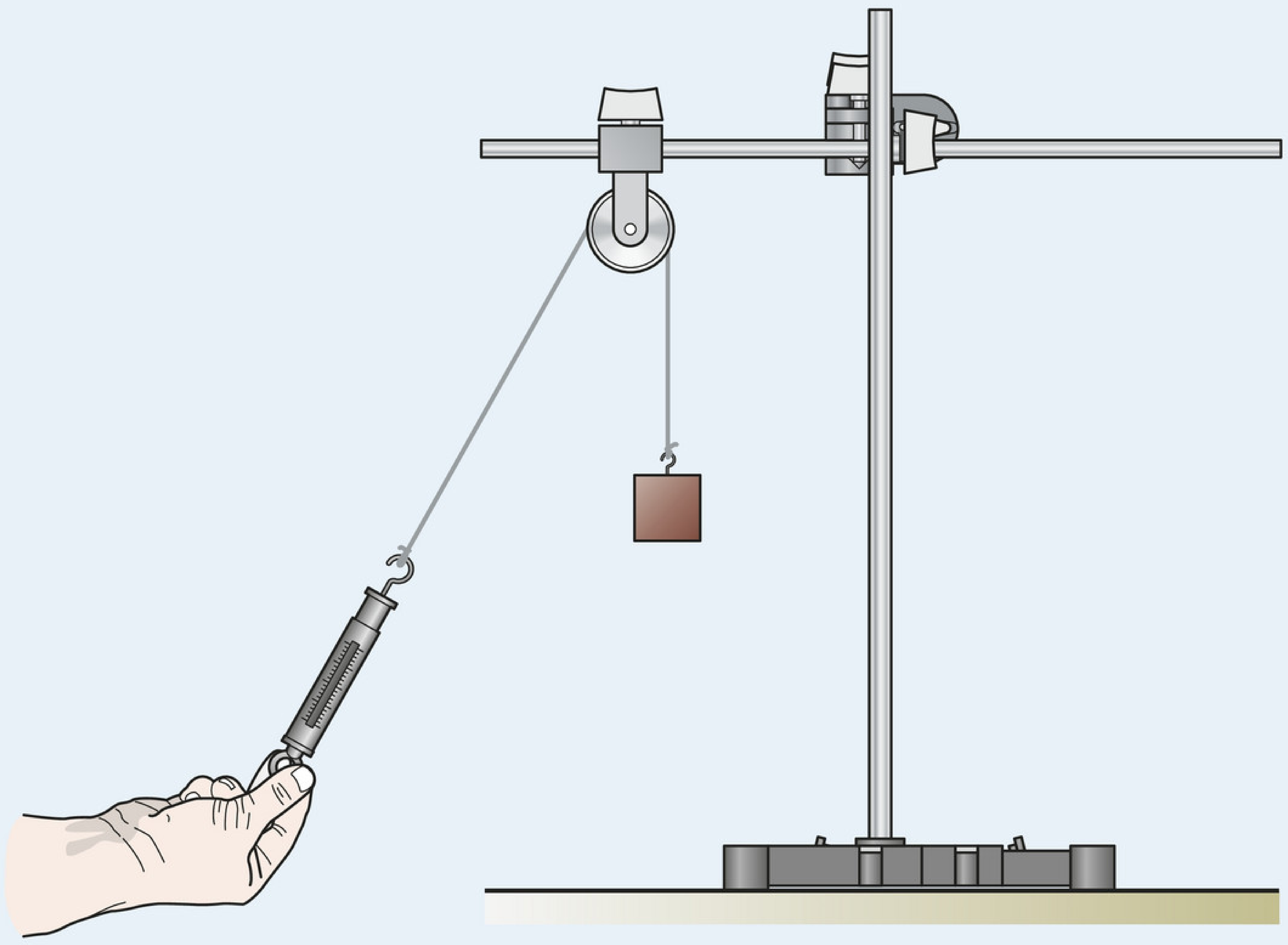
**Nodig**
- statiefmateriaal
- 2 katrollen
- touw
- massablokje
- krachtmeter
- meetlat

**Uitvoeren en uitwerken**
– Meet de zwaartekracht op het massablokje door het blokje aan de krachtmeter te hangen.

**1** Noteer hoe groot de kracht is die de krachtmeter aangeeft.

*De vaste katrol*
– Maak het touw vast aan het massablokje. Leg het touw daarna over de katrol.
– Bouw de opstelling die in figuur 57 getekend is.
– Hijs het massablokje omhoog door de krachtmeter *langzaam* (!) onder een hoek van 45° omlaag te trekken.

**2** Noteer hoe groot de kracht is die de krachtmeter aangeeft.



▶ **figuur 57**
een blokje ophijsen met een vaste katrol

**3** Vergelijk de antwoorden op vraag 1 en 2. Wat is je conclusie?

**4** Kun je met een vaste katrol iemand ophijsen die zwaarder is dan jezelf? Leg uit.

*De takel*

- Bouw nu de opstelling die in figuur 58 getekend is.
- Hijs het massablokje omhoog door de krachtmeter *langzaam* (!) onder een hoek van 45° omlaag te trekken.

**5** Noteer hoe groot de kracht is die de krachtmeter aangeeft.

**6** Vergelijk de antwoorden op vraag 1 en 5. Wat is je conclusie?

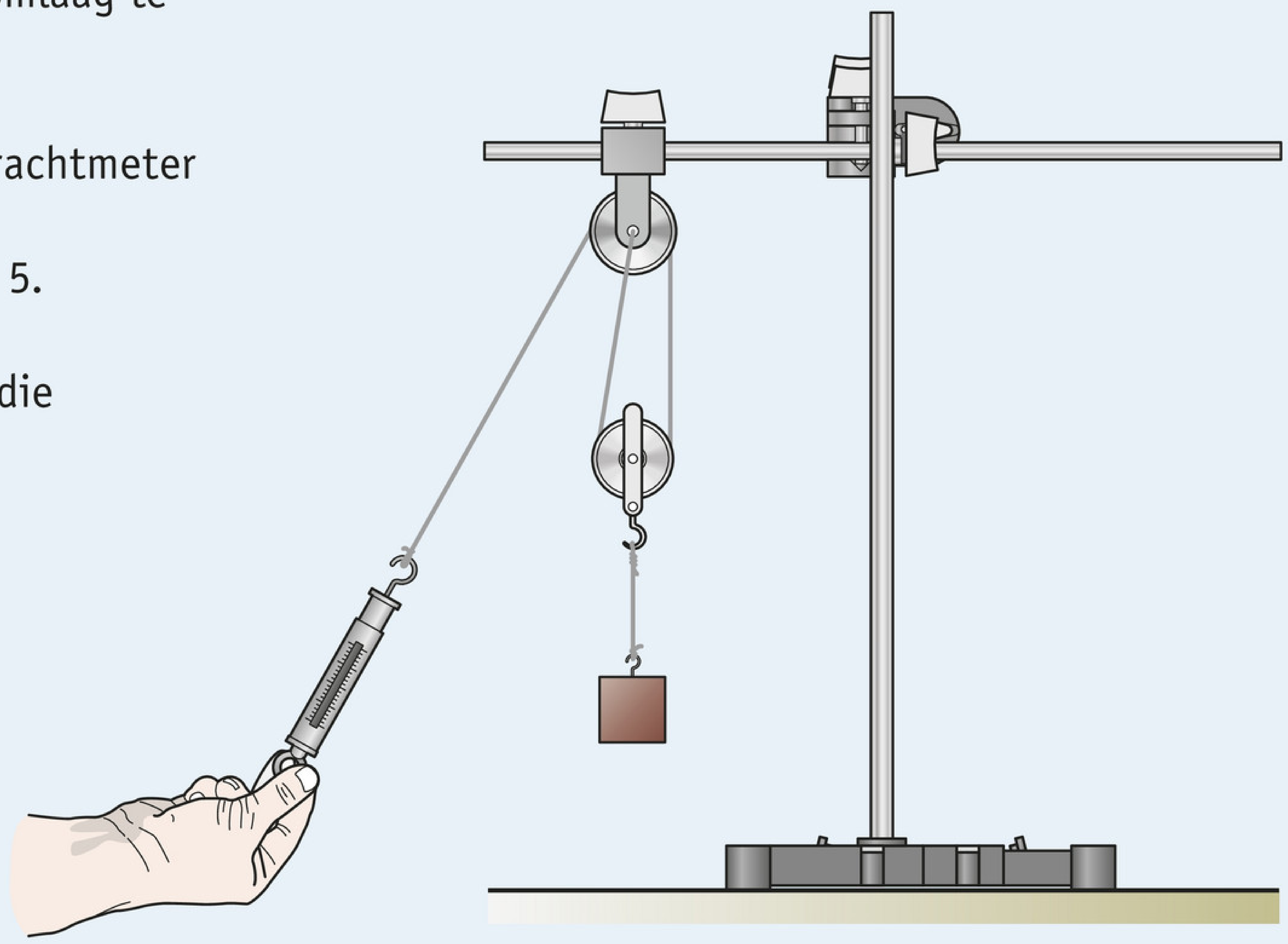
**7** Kun je met een takel iemand ophijsen die zwaarder is dan jezelf? Leg uit.

- Herhaal de proef met de takel. Meet hoeveel touw je naar beneden moet trekken om het blokje 25 cm omhoog te hijsen.

**8** Hoeveel centimeter touw moest je inhalen?

**9** Wat heb je aan een takel (wat win je ermee)?

**10** Welk nadeel staat daar tegenover (wat verlies je ermee)?



▶ **figuur 58**
een blokje ophijsen met een takel

## Proef 5 Een krachtmeter bouwen en ijken 45 min

### Inleiding
Stel je voor: een fabriek van meetinstrumenten gaat een nieuw model krachtmeter op de markt brengen, waarmee krachten nauwkeurig gemeten kunnen worden. Er is al een spiraalveer voor de nieuwe meter gekozen. Aan jou de taak om het ontwerp af te maken met een nauwkeurige en goed af te lezen schaalverdeling.

### Doel
Bij deze proef ga je zelf een schaalverdeling maken. De ontwerpeisen zijn:

**Ontwerpeisen**
- Het meetbereik van de krachtmeter is minstens 0-1 N.
- De afstand tussen de streepjes van de schaalverdeling is maximaal 0,1 N.
- De krachtmeter is op zijn minst even nauwkeurig als een 'gewone' krachtmeter.

### Nodig
De basisopstelling is getekend in figuur 59. Je maakt zelf een lijst van wat je nodig hebt.

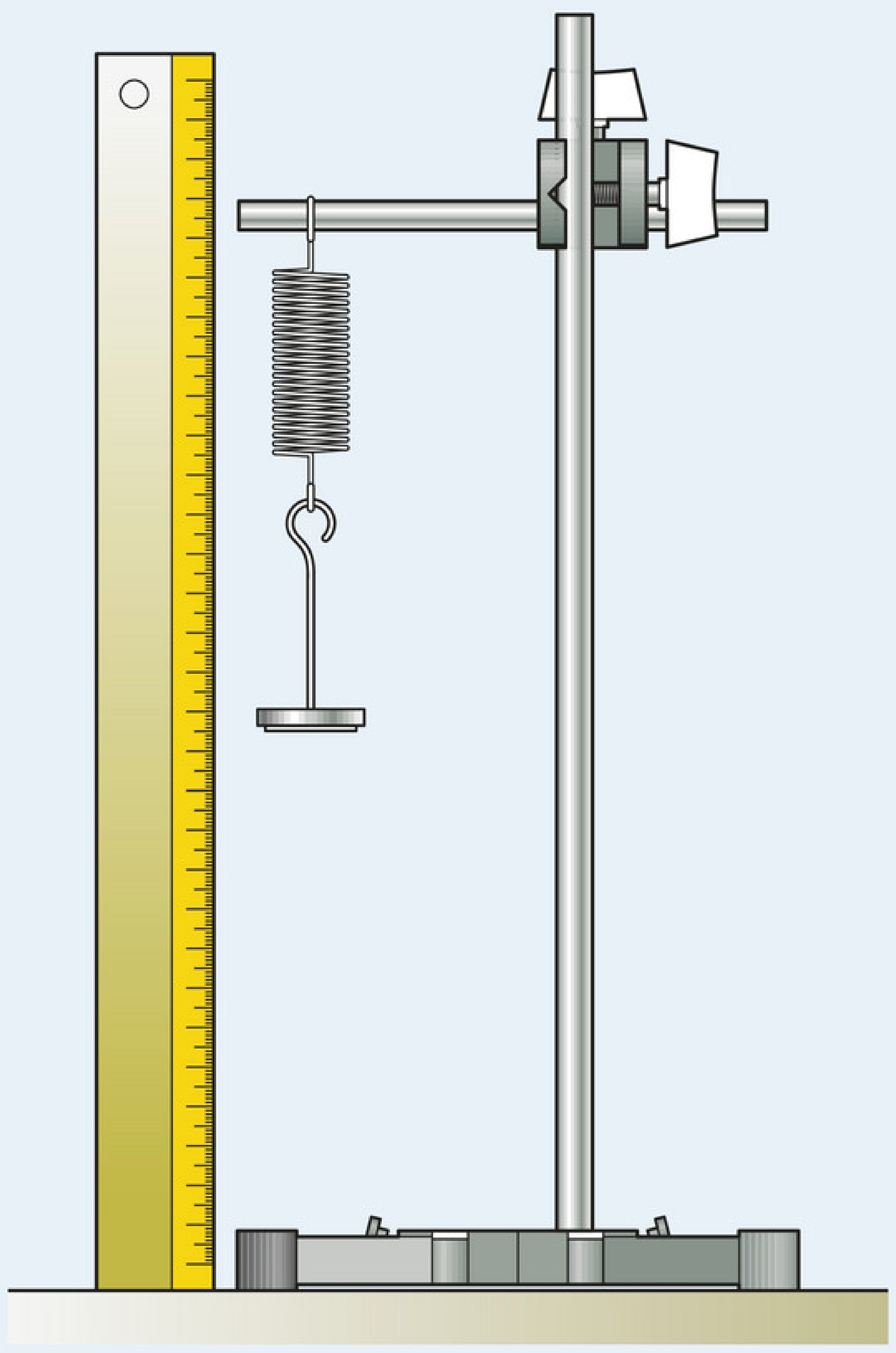
### Uitvoeren en uitwerken
1. Noteer welke practicumspullen je nodig hebt.
2. Leg uit hoe je de krachtmeter gaat ijken.

- Laat de lijst met practicumspullen en je ijkmethode controleren door je docent.
- Bouw de krachtmeter en voorzie hem van een schaalverdeling. Test daarna of hij voldoet aan de drie ontwerpeisen.

3. Leg uit hoe je die test hebt uitgevoerd.

- Breng zo nodig verbeteringen aan.
- Maak zo nodig een nieuwe schaalverdeling.
- Laat de krachtmeter ten slotte beoordelen door je docent.

4. Maak een verslag van deze proef met daarin:
   - **a** een foto van de opstelling met de geijkte schaalverdeling.
   - **b** de manier waarop je de schaalverdeling hebt gemaakt.
   - **c** de manier(en) waarop je de schaalverdeling hebt getest.
   - **d** je conclusies. Hoe nauwkeurig is de krachtenmeter?



▲ **figuur 59**
de opstelling van proef 5

# Test Jezelf

**Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.**

**1** Noteer van elke situatie of de vervorming elastisch of plastisch is.
- **a** Een turner zet zich krachtig af op de trampoline.
- **b** Een boom buigt ver mee met een hevige windvlaag.
- **c** Een trekker laat diepe sporen achter op een natte akker.
- **d** Theo rijdt een flinke deuk in zijn spiksplinternieuwe auto.

**2** Om een aluminium staaf worden twee ringmagneten geschoven. De bovenste magneet blijft daarna zweven (figuur 60).
- **a** Welke twee krachten werken op de bovenste magneet?
- **b** Wat kun je zeggen over de grootte van deze twee krachten?
- **c** Wat kun je zeggen over de richting van deze twee krachten?



▶ **figuur 60**
een proefje met twee ringmagneten

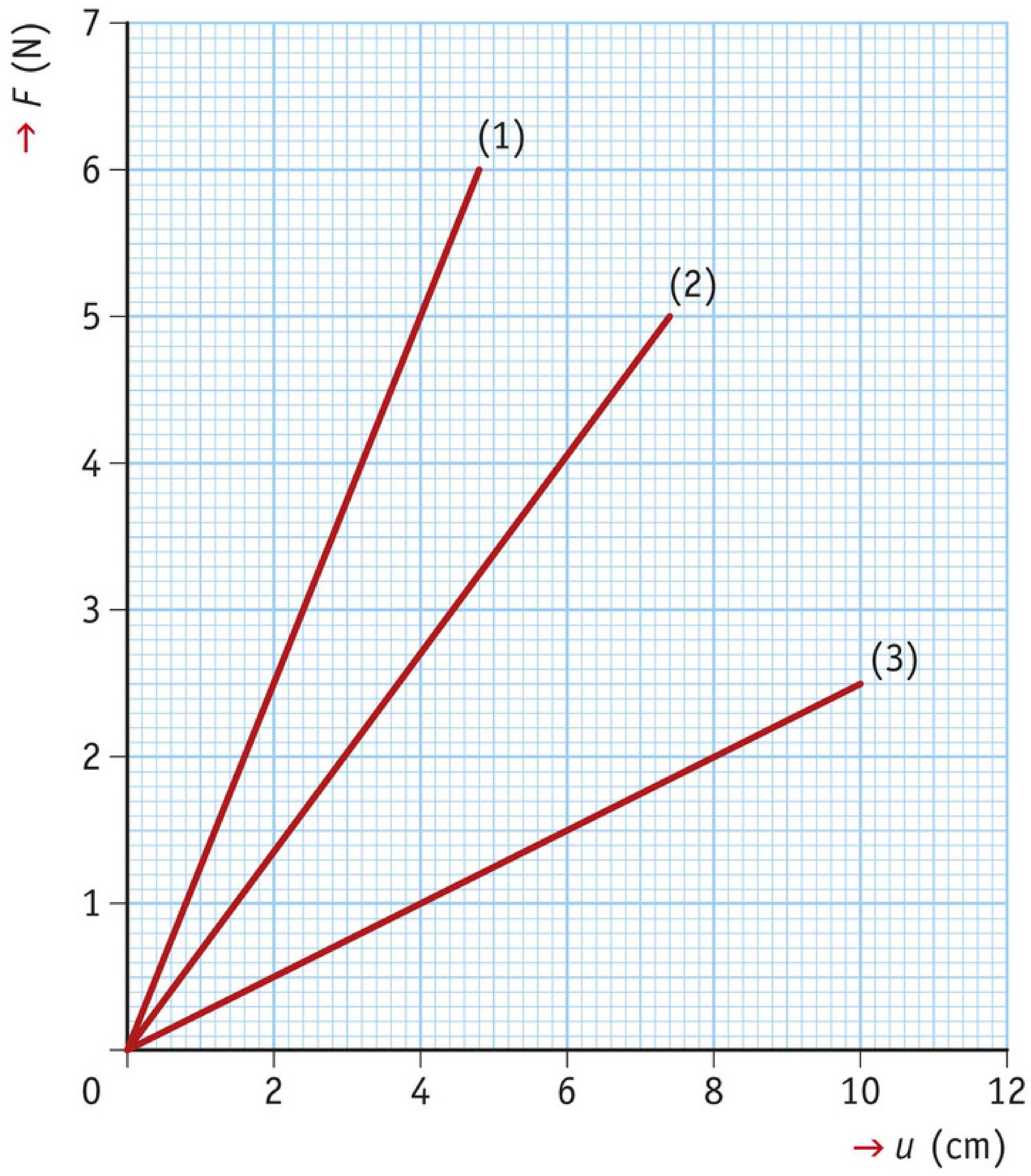
**3** Een importeur van vorkheftrucks vermeldt op zijn site:

> Vorkheftruck Linde H25D-02
> Hefvermogen / Capacity 2500 kg
> Eigen gewicht / Weight 4470 kg

Hoe groot is de kracht (in kN) die de vorkheftruck op de vloer uitoefent als hij op zijn zwaarst is beladen?

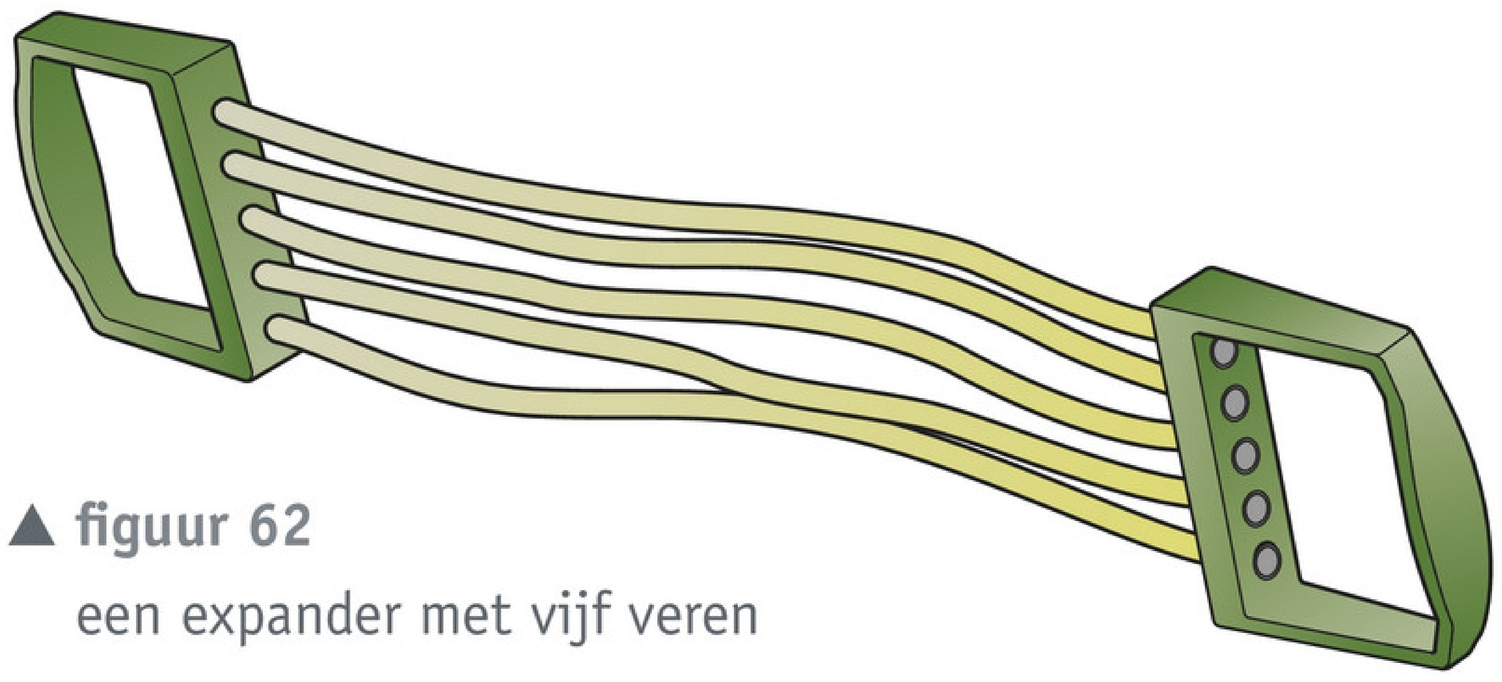
**4** Voor je een kracht kunt tekenen, kies je eerst een krachtenschaal.
- **a** Gea kiest als krachtenschaal 1 cm ≙ 20 N.
  Hoe lang moet ze de pijl tekenen van een kracht van 84 N?
- **b** Lucas tekent een kracht van 240 N als een pijl van 4,8 cm.
  Welke krachtenschaal heeft hij gebruikt?

**5** Nienke heeft van drie veren 1, 2 en 3 gemeten hoe ze uitrekken als ze er gewichtjes aan hangt. In figuur 61 zie je de grafiek van deze proef.
- **a** Welke veer is het stugst?
- **b** Hoe groot is de veerconstante van deze veer?




▲ **figuur 61**
Welke veer is het stugst?

**6** De expander in figuur 62 heeft een veerconstante van 900 N/m, als je alle veren tegelijk probeert uit te rekken.
Hoe groot is de veerconstante van één veer? De veren zijn onderling identiek.



▲ **figuur 62**
een expander met vijf veren

**7** Een gezin is aan het touwtrekken. Paul (vader) en Inez (dochter) nemen het op tegen Martine (moeder) en Barry (zoon). Paul trekt met een kracht van 620 N, Martine met een kracht van 480 N en Inez met een kracht van 250 N.
Met welke kracht moet Barry trekken om het touw in evenwicht te houden?

**8** Noteer van elke bewering of hij waar of onwaar is.
- **a** De aarde is verreweg de grootste van de acht planeten in ons zonnestelsel.
- **b** De baan waarin een planeet rond de zon draait, heeft de vorm van een ellips.
- **c** Bij deze beweging fungeert de zwaartekracht als middelpuntzoekende kracht.
- **d** De zwaartekracht werkt in dezelfde richting als waarin de planeten bewegen.
- **e** Zolang mensen of voorwerpen in vrije val bewegen, hebben ze geen gewicht.

**9** De globe in figuur 63 (diameter 26 cm) is een model op schaal van de aarde (diameter 13 000 km).
Hoe groot wordt de afstand tussen de aarde en de zon (150 miljoen km), als je die op dezelfde schaal zou weergeven?
- A 3 m
- B 30 m
- C 300 m
- D 3 km
- E 30 km



▶ **figuur 63**
Een globe is een schaalmodel van de aarde in drie dimensies.

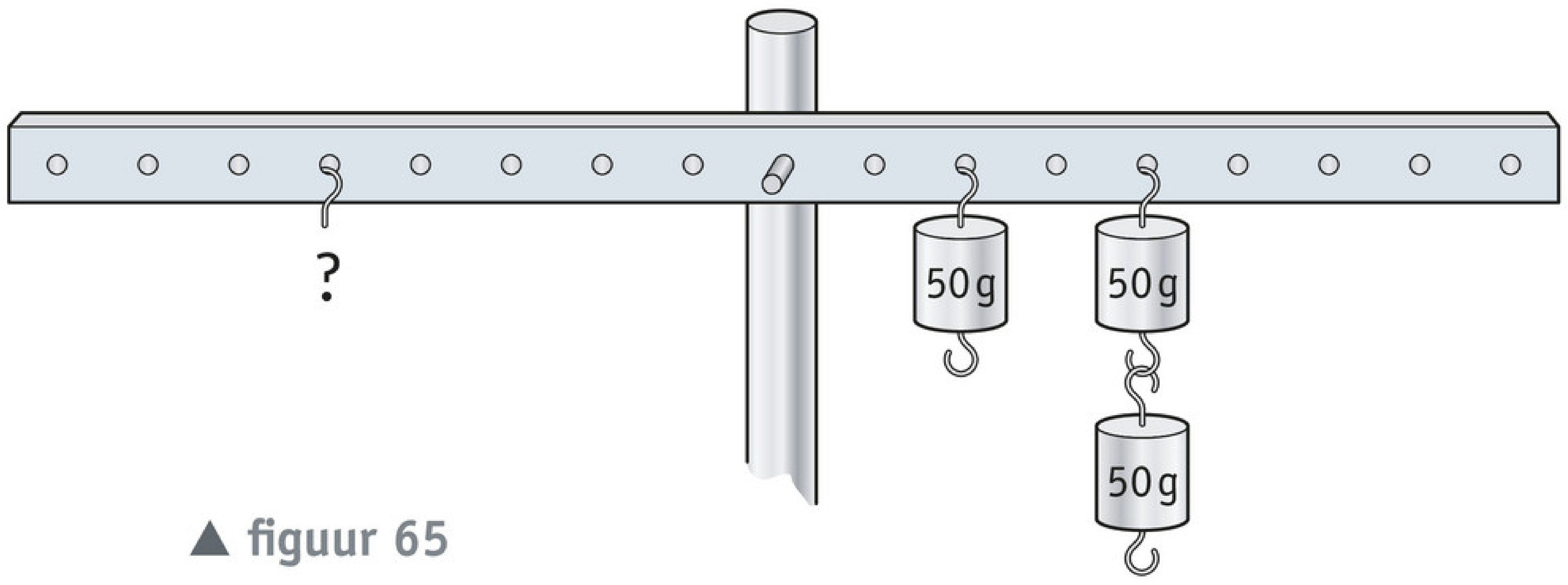
**10** Kees staat op één been op een weegschaal. Deze geeft 60 kg aan.
Welke uitspraak is – natuurkundig gezien – juist?
- A Het gewicht van Kees is 60 kg.
- B Het gewicht van Kees is 600 N.
- C Het gewicht van Kees is 300 N.
- D Kees is helemaal gewichtloos.

**11** Matthijs zet een volle vuilniscontainer bij de straat (figuur 64). De zwaartekracht op de container en de spierkracht van Matthijs zijn in evenwicht.
Door de container zoals op de foto vast te houden, maak je:
- A het moment van de spierkracht zo klein mogelijk.
- B het moment van de zwaartekracht zo klein mogelijk.
- C het moment van de spierkracht zo groot mogelijk.
- D het moment van de zwaartekracht zo groot mogelijk.



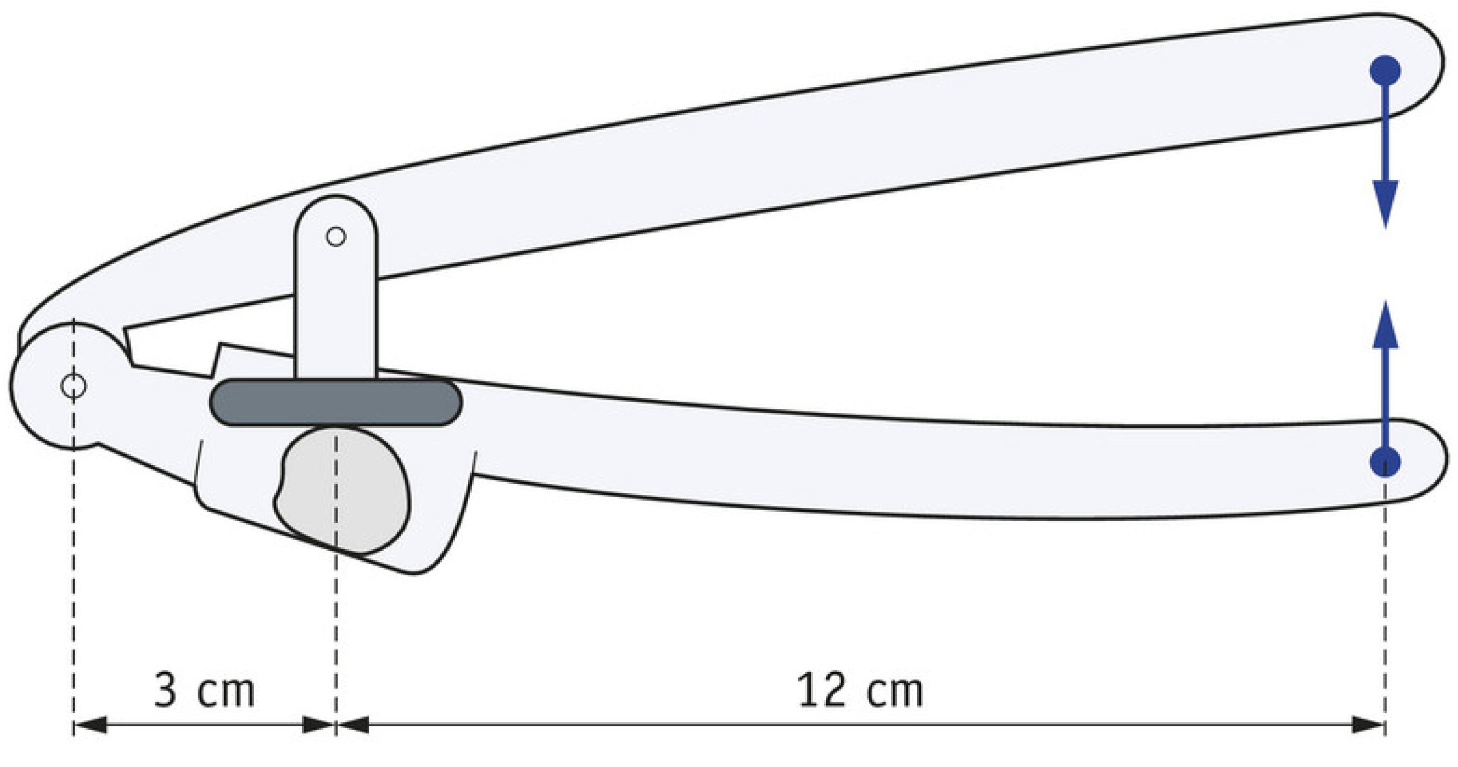
◀ **figuur 64**
Matthijs zet de vuilniscontainer bij de straat.

**12** Irene heeft een practicumopstelling gemaakt met een hefboom (figuur 65). Ze wil links op de aangegeven plaats nog een of meer gewichtjes hangen, zodat de hefboom in evenwicht is.
Bereken hoe groot de massa van dat gewichtje / die gewichtjes moet zijn.




▲ **figuur 65**
een hefboom met gewichtjes

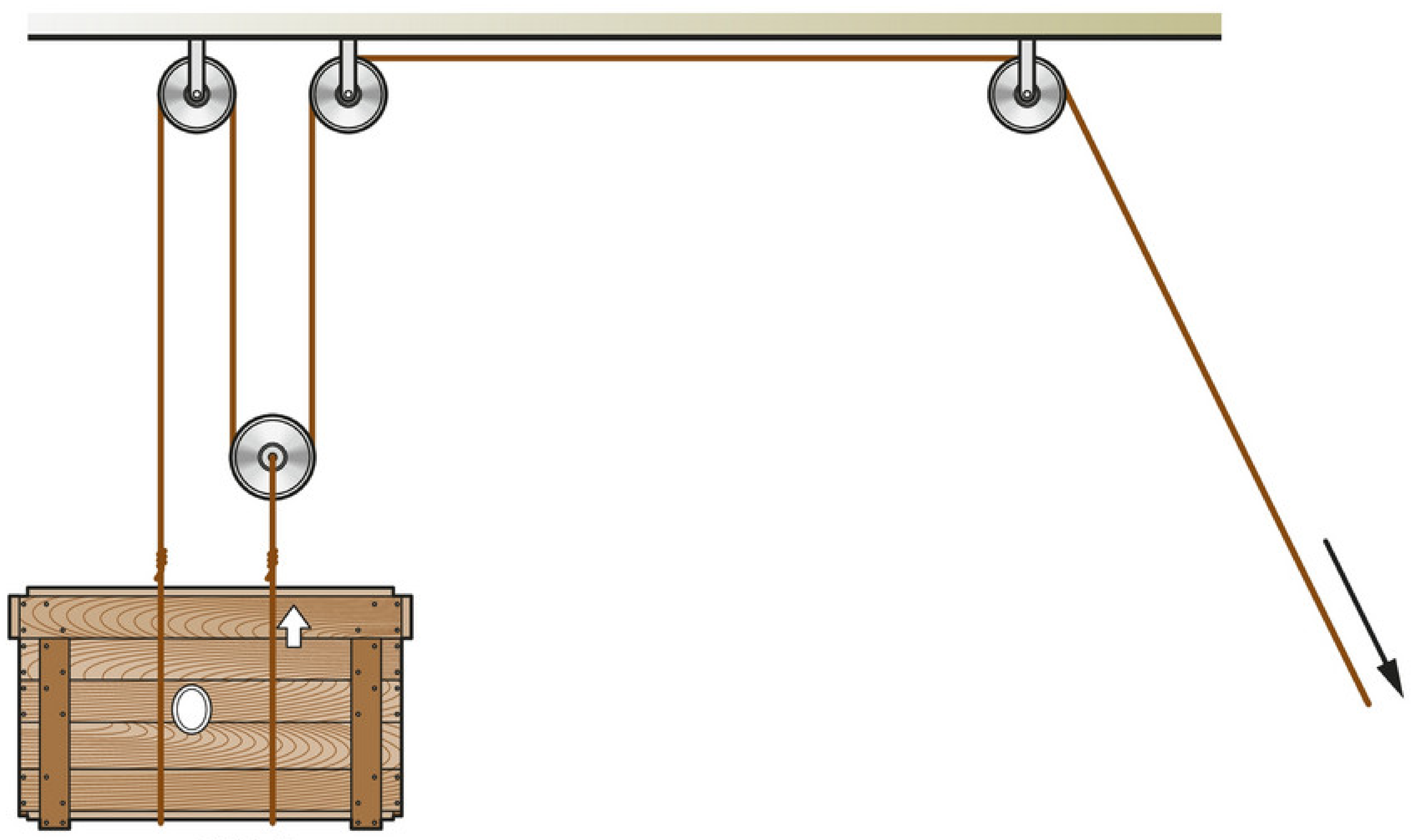
**13** De knoflookpers in figuur 66 wordt gebruikt om knoflook fijn te persen.
Als je de handvatten dichtknijpt, is de kracht op het teentje knoflook:
- A 4× zo groot als de spierkracht.
- B 5× zo groot als de spierkracht.
- C 3× zo groot als de spierkracht.
- D 9× zo groot als de spierkracht.




▲ **figuur 66**
een knoflookpers

**14** Een takel maakt de hijskracht $N\times$ zo groot als de trekkracht op het touw.
Hoe groot is het getal $N$:
- **a** bij een takel met één vaste en één losse katrol.
- **b** bij een takel met drie vaste en drie losse katrollen?

**15** Een kist van 150 kg wordt omhoog gehesen met vier katrollen (figuur 67).
Hoe groot is de benodigde trekkracht op het touw?

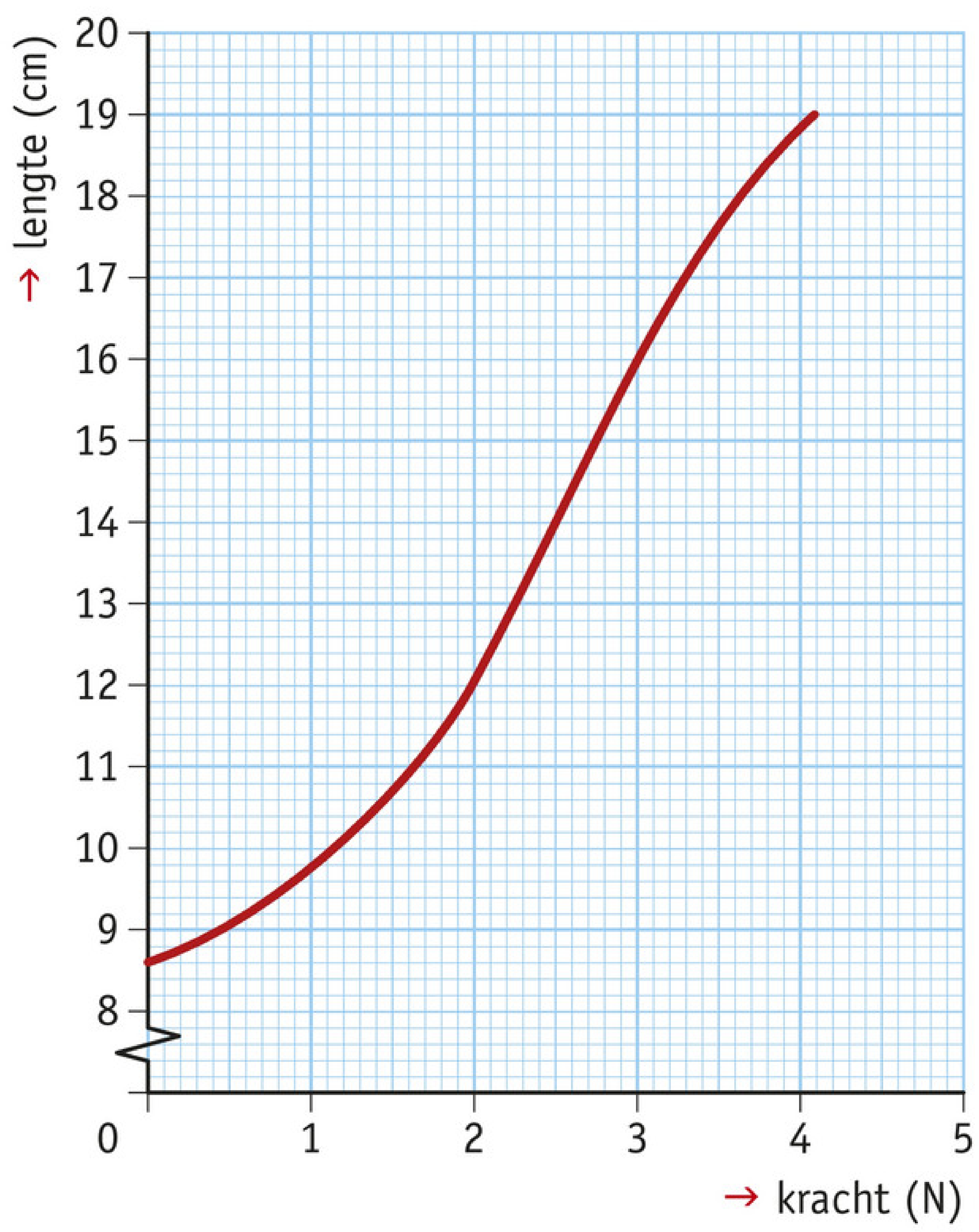



▲ **figuur 67**
hijsen met een takel

**16** De kist in figuur 67 wordt 6 m omhoog gehesen. Hoeveel meter touw moet je daarvoor inhalen?

**17** Bij deze opgave heb je werkblad 1-9 nodig.
Op het werkblad zie je hoe Dennis een stoel van 3,2 kg op één hand in evenwicht houdt.
- **a** Welke krachten werken er op de stoel?
- **b** Hoe groot zijn deze krachten?
- **c** Geef op het werkblad aan op welke lijn het zwaartepunt van de stoel zich kan bevinden.

**18** Jorieke heeft een proef gedaan met een elastiek. In figuur 68 zie je haar meetresultaten.
- **a** Hoe lang wordt het elastiek, als je er een etui van 200 g aan hangt?
- **b** Als je behalve het etui ook nog een schaartje aan het elastiek hangt, wordt de lengte 16 cm. Leg uit wat de lengte van het elastiek zou worden, als je alleen het schaartje eraan zou hangen.

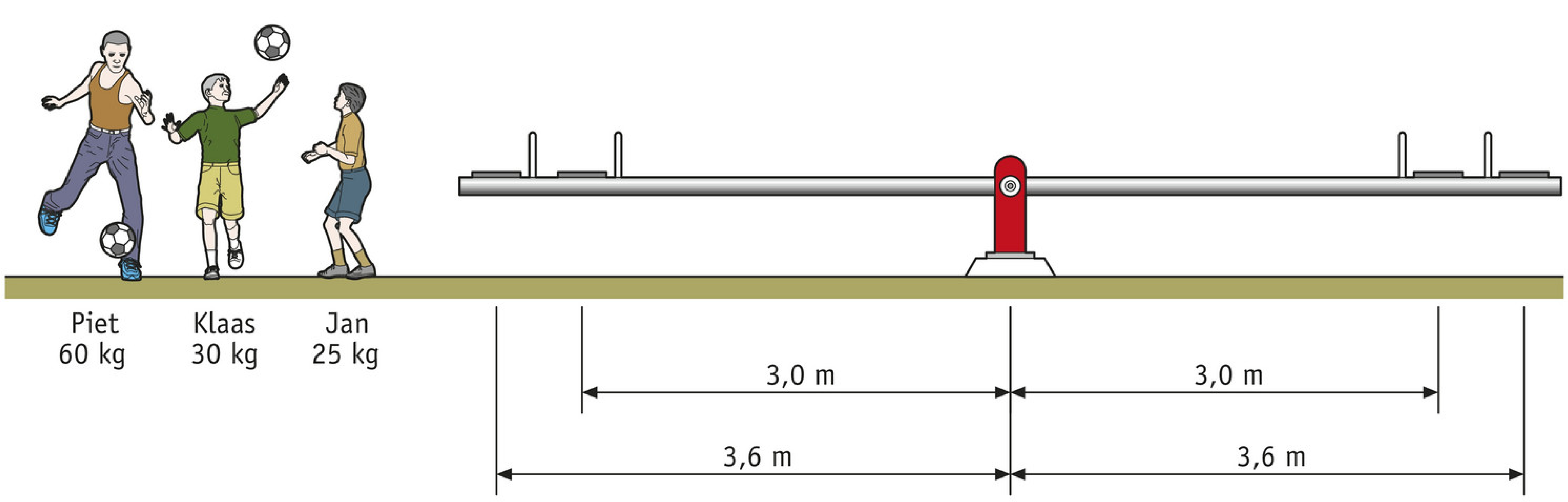



▲ **figuur 68**
het kracht-lengtediagram van een elastiek

**19** Benne gebruikt een takel met twee vaste en twee losse katrollen om een kast van 200 kg omhoog te hijsen. Als hij 30 m touw heeft ingehaald, is de kast op de juiste hoogte.
Bereken:
- **a** hoeveel arbeid Benne heeft verricht.
- **b** op welke hoogte de kast zich bevindt.

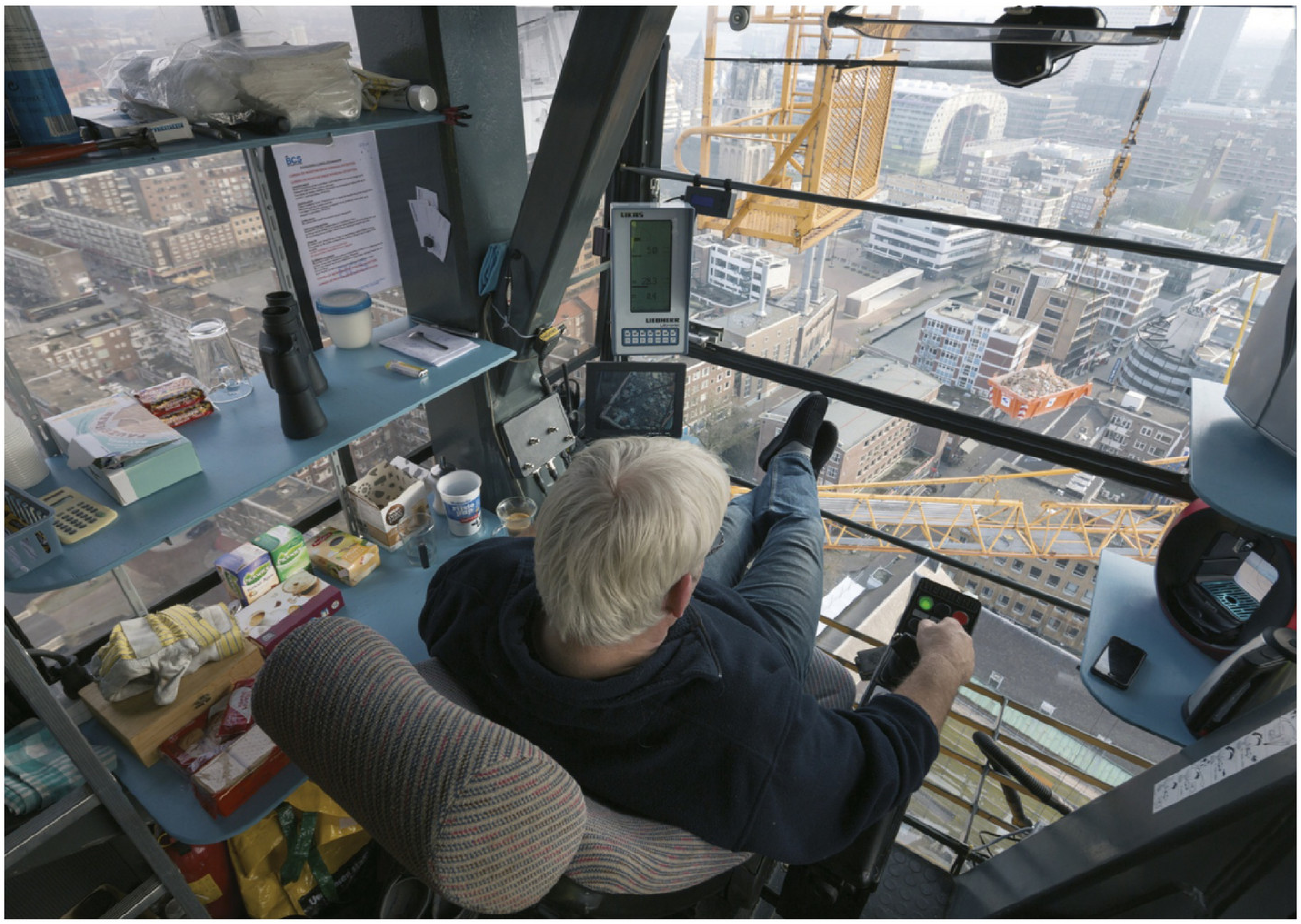
**20** In figuur 69 zie je een wip met drie kinderen. Je kunt de kinderen zo over drie van de vier zitplaatsen verdelen dat de wip in evenwicht is.
- **a** Schrijf op hoe je de kinderen daarvoor over de zitplaatsen moet verdelen.
- **b** Laat met een berekening zien dat de wip dan in evenwicht is.

▶ **figuur 69**
Welke combinatie maakt evenwicht?





# Torenkranen: evenwichtskunst op grote



# hoogte

**De cabine is klein, maar het uitzicht is er adembenemend. Kraanmachinist Arno geniet er elke dag van. “Vooral als ’s ochtends de zon opgaat. Dat blijft mooi, hoe vaak je het ook ziet,” vertelt hij. Niet dat hij veel tijd heeft om om zich heen te kijken. “Het werk gaat voor,” zegt hij. “In de bouw let iedereen op veiligheid, maar als kraanmachinist moet je extra alert zijn. Je mag nooit vergeten dat er onder je kraan mensen aan het werk zijn.”**

Een piepkleine liftkooi brengt Arno elke dag naar zijn werkplek, boven in een torenkraan. Met behulp van knoppen, hendels en pedalen hijst hij bouwmaterialen op en zet ze op de juiste plek neer. “Hijsen is teamwerk,” zegt hij, “al zit je wel alleen in de cabine. Met de portofoon heb ik contact met mijn collega’s beneden. Ze gebruiken ook gebaren om me aanwijzingen te geven.”

Het afgelopen halfjaar heeft Arno de woontoren waar hij aan werkt, steeds verder zien groeien. Zijn kraan groeide ondertussen met het gebouw mee. Af en toe werd de mast hoger gemaakt door er een stuk bovenop te zetten. Arno begon op 50 meter hoogte en zit nu op 80 meter. Van daaruit kijkt hij neer op het dak van de woontoren, zo’n 15 meter onder zijn cabine.

**De Potain MD 560B**
Arno’s kraan is een 560B van het Franse bedrijf Potain. Dit zijn de fabrieksgegevens.

| Technische gegevens | |
|---|---|
| vermogen | 120 kW (hijsmotor 94 kW) |
| aansluitspanning | 400 V |
| hefvermogen | 25 000 kg |
| zwenksnelheid | max. 0,7 omw/min |
| lastmoment | max. 500 tonmeter |
| gieklengte | 35 t/m 80 m |
| haakhoogte | max. 78,6 m |

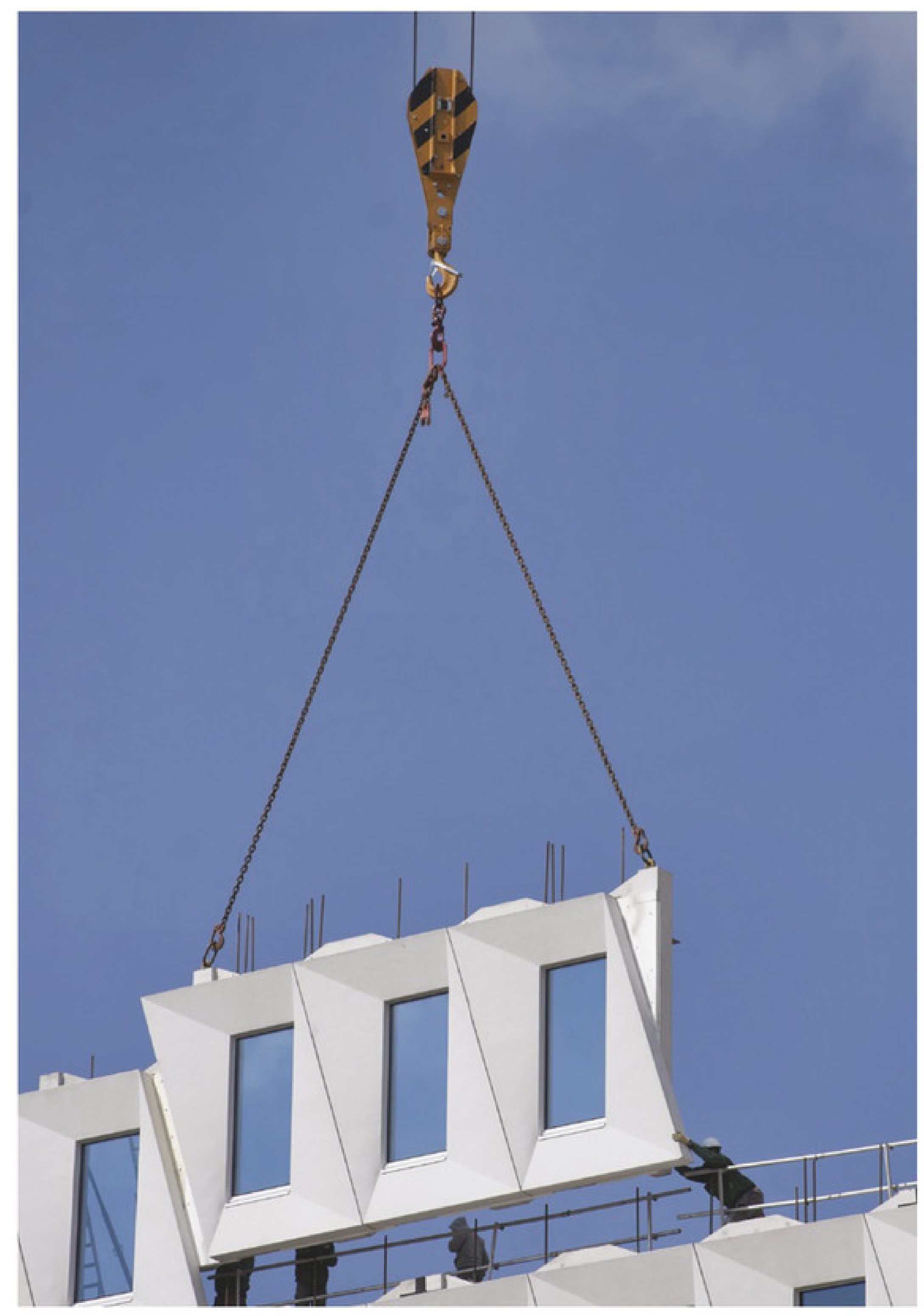
### Balanceren

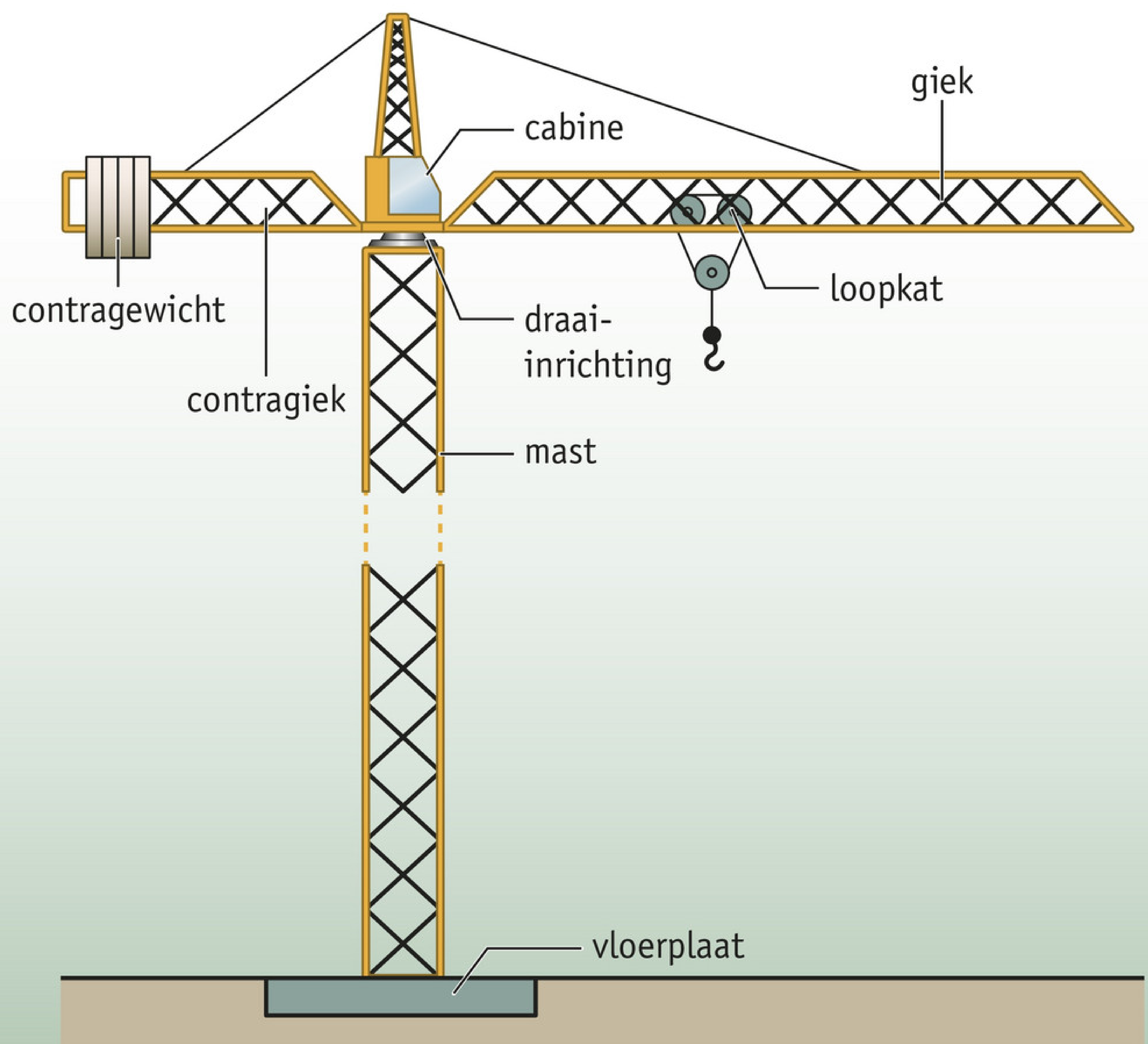
De giek van Arno's kraan – de lange arm met de hijsinstallatie – is 65 meter lang. Langs de giek beweegt een 'loopkat' heen en weer, met daaraan de hijskabels, de takel en de hijshaak. Hiermee wordt de last omhoog gehesen en verplaatst. De contragiek – de arm aan de andere kant van de cabine – is veel korter. Hieraan hangt een contragewicht dat bestaat uit grote betonblokken.

Als er geen last aan de kraan hangt, zijn de momenten op de lange arm en de korte arm even groot. De kraan is dan in balans. Dat verandert als de kraan een last gaat ophijsen. Het moment op de lange arm neemt dan toe en het oorspronkelijke evenwicht wordt verstoord. Dat de kraan dan niet omvalt, komt doordat hij aan een zware betonnen plaat is verankerd. Dat zorgt voor een tegenmoment dat het evenwicht weer snel herstelt.

> "Op het moment dat de last loskomt van de grond, voel je de kraan even wiebelen."

Het duurt altijd een paar seconden voordat de kraan weer helemaal in evenwicht is. Arno kan daarover meepraten: "Op het moment dat de last loskomt van de grond, voel je de kraan even wiebelen. In het begin moest ik daar erg aan wennen. Je realiseert je opeens dat je het evenwicht ook echt verliezen kunt. Het is natuurlijk ook niet niks wat je daar aan de haak hebt hangen."






## Hoe maak je een kraan hoger?

Om een torenkraan op te hogen, worden losse mastdelen gebruikt. De kraan hijst zo'n mastdeel zelf naar boven. Daarna wordt de hele top van de kraan, met de giek en de contragiek, hydraulisch omhoog gekrikt. Ten slotte wordt het nieuwe mastdeel in de vrijgekomen ruimte geschoven en vastgezet. De kraan is dan weer klaar voor de volgende bouwfase.

### Bij twijfel: kijk in de hijstabel!

Arno's kraan heeft een fors hefvermogen. Als het moet, kan hij 25 ton in één keer omhoog hijsen. "Maar dat mag alleen als de last zich niet te ver van de mast bevindt. Het maximum is 20 meter," vertelt hij. "Bij een grotere afstand wordt het moment van de last te groot, en daar is de kraan niet op gebouwd.

| giek-lengte | maximale last bij een vlucht van | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 20 m | 30 m | 40 m | 50 m | 60 m | 70 m | 80 m |
| 80 m | 25,0 t | 16,8 t | 12,2 t | 9,3 t | 7,4 t | 6,0 t | 5,0 t |
| 65 m | 25,0 t | 18,0 t | 12,9 t | 10,1 t | 8,1 t | | |
| 50 m | 25,0 t | 19,0 t | 13,6 t | 10,7 t | | | |
| 35 m | 25,0 t | 19,8 t | | | | | |

De veiligheidsgrens ligt bij 25 ton × 20 meter = 500 tonmeter. Dat noemen ze het maximale lastmoment."

Als Arno aan het werk is, moet hij dus twee dingen in de gaten houden: de grootte van de last én de grootte van de 'vlucht' (zo noemen kraanmachinisten de afstand tussen de mast en de last). Als de last klein is, *kan* hij voor een grote vlucht kiezen. Maar als de last groot is, *moet* hij de vlucht klein houden. Anders bestaat het gevaar dat de giek of de mast plotseling doorbuigt of breekt.

Bij elke kraan hoort een hijstabel. Daarin kan de machinist opzoeken hoe groot de vlucht mag zijn voor een gegeven last, of omgekeerd. Hierboven zie je een vereenvoudigde versie van Arno's hijstabel. De echte hijstabel ziet er net zo uit, alleen is die veel gedetailleerder.

Als Arno een last van 10 ton moet verplaatsen, zoekt hij in de tabel eerst de gieklengte op. "De giek bestaat uit losse delen die aan elkaar gekoppeld worden," legt hij uit. "Voor elke klus wordt van tevoren berekend hoe lang de giek moet zijn. Bij deze klus is dat 65 meter." In de tabel staat dat er bij een gieklengte van 65 meter en een vlucht van 50 meter maximaal 10,1 ton aan de haak mag hangen. "Met mijn 10 ton blijf ik daar nog net iets onder," zegt Arno, "dus kan ik de last op 50 meter van de mast neerzetten."

## Veiligheid voor alles

Als kraanmachinist is Arno verantwoordelijk voor de veiligheid. "Dat staat voor mij op nummer één," zegt hij beslist. "Gelukkig gebeuren er met torenkranen weinig ongelukken. Maar het hoeft maar een keer echt fout te gaan en je hebt meteen een heleboel ellende. Daarom moet je je hoofd er altijd goed bij hebben. Je kunt dit werk niet uit de losse pols doen."

Gelukkig zijn er ontwikkelingen die de veiligheid vergroten. Camera's laten de machinist zien wat er ver onder hem gebeurt. Elektronische systemen slaan alarm als de last of het lastmoment te groot wordt. Maar de machinist zelf blijft de belangrijkste schakel in de veiligheidsketen. Of zoals Arno het zegt: "Al die techniek in de cabine, dat is prachtig. Maar zit er een gek achter de knuppel, dan heb je er niks aan. Het evenwicht moet ook tussen de oren zitten."

### Opgaven

**1** Sommige hijskranen hebben een contragewicht dat langs de contragiek heen en weer kan bewegen.
Leg uit:
- **a** welk voordeel zo'n verplaatsbaar contragewicht heeft vergeleken met een 'vast' contragewicht.
- **b** waarom het contragewicht niet van zijn plaats komt, als de last recht omhoog wordt gehesen.
- **c** waarom het contragewicht wel in beweging komt, als de afstand tussen de last en de mast wordt veranderd.

**2** 💻 Zoek op internet informatie over het huren van mobiele hijskranen.
- **a** Bedenk zelf een realistische hijsklus. Noteer de last (in kg) en de vlucht (in m).
- **b** Bereken hoe groot het maximale lastmoment van jouw 'huurkraan' moet zijn.
- **c** Zoek een verhuurbedrijf op internet dat de juiste hijskraan heeft voor deze klus. Noteer welke hijskraan je gekozen hebt en leg uit waarom dit een goede keuze is.

***3** Bekijk de hijstabel in de tekst.
- **a** Welke invloed heeft de gieklengte op de maximale last die je (bij een bepaalde vlucht) kunt ophijsen?
- **b** Hoe komt het dat de gieklengte invloed heeft op de maximale last? Gebruik in je uitleg het begrip 'moment'.





# 2

# Elektriciteit

## Elektrische energie gebruiken

**Je kunt niet zonder elektriciteit. Dat merk je als er een stroomstoring is. De verlichting en de verwarming vallen uit en apparaten doen het niet meer. Veel mensen kunnen hun werk niet meer doen. Daarom is iedereen opgelucht als het licht weer aangaat.**

# 1 Elektrische energie vervoeren



▲ figuur 1
de Amercentrale in Geertruidenberg

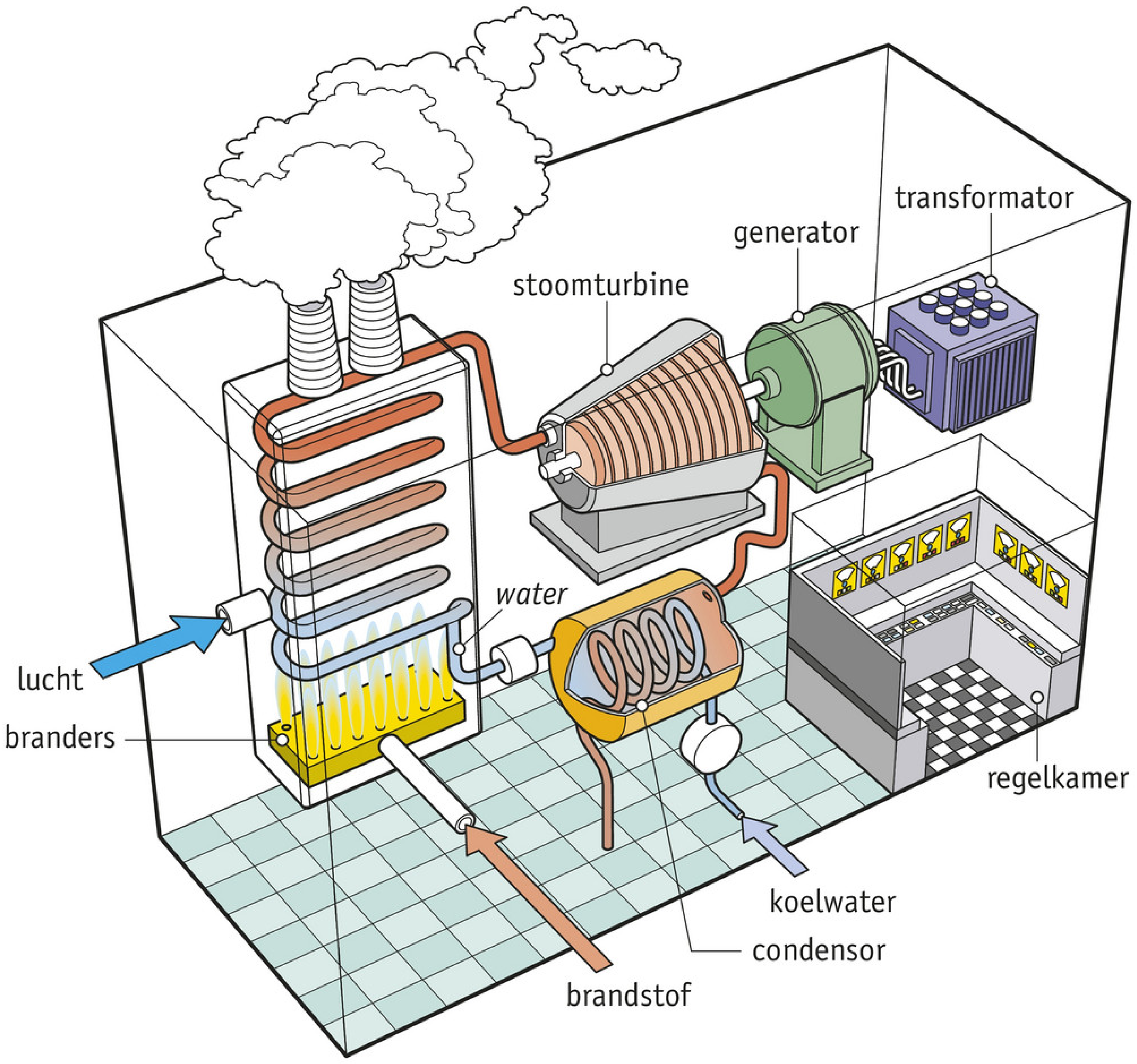
**Een uitgestrekt leidingnetwerk vervoert de elektrische energie die je nodig hebt, van de centrale naar je huis. Daarbij wordt de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd.**

## De elektriciteitscentrale

De elektrische energie die je thuis gebruikt, kan op verschillende manieren zijn opgewekt: door een gewone **elektriciteitscentrale** of een kerncentrale, in een windturbine of met een paneel zonnecellen. In Nederland leveren gewone elektriciteitscentrales nu nog de grootste bijdrage, al kan dat in de toekomst gaan veranderen (figuur 1).

In figuur 2 zie je hoe zo'n gewone elektriciteitscentrale werkt:

1. Door de **branders** wordt aardgas, steenkool of een andere brandstof verbrand. Met de vrijkomende warmte wordt het water in de ketel verhit. Hierdoor ontstaat stoom – hete waterdamp – met een temperatuur van ongeveer 500 °C en een zeer hoge druk.
2. De stoom spuit met grote snelheid tegen de schoepen van een **turbine**. Daardoor gaat de as van de turbine ronddraaien.
3. Aan de as van de turbine is een **generator** – een soort grote dynamo – gekoppeld. Als de as van de turbine draait, wordt er in de generator elektrische energie opgewekt.




▶ figuur 2
Zo ziet een elektriciteitscentrale er vanbinnen uit.

4 De 'afgewerkte' stoom die intussen een veel lagere temperatuur en druk heeft gekregen, wordt naar een **condensor** geleid. Daar condenseert de stoom tot (vloeibaar) water. Dit water wordt vervolgens naar de ketel teruggepompt.

In een condensor wordt koelwater gebruikt om de stoom te laten condenseren. Meestal wordt het koelwater uit een rivier of een meer gehaald. Op plaatsen waar niet genoeg open water is, wordt het koelwater steeds opnieuw gebruikt. Bij de centrale staan dan **koeltorens**, waarin het koelwater zijn warmte afstaat aan de buitenlucht (figuur 3).



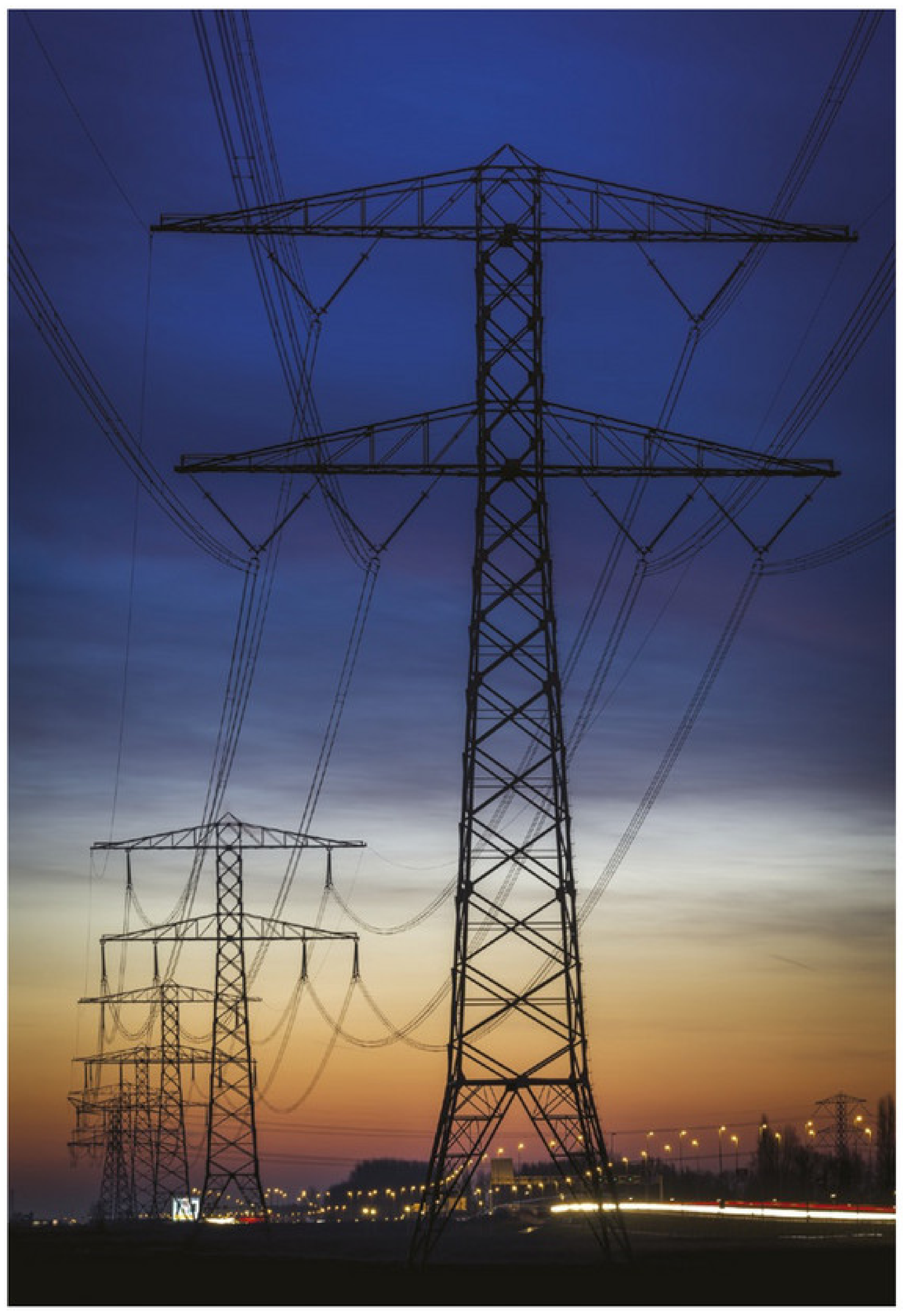
▶ **figuur 3**
de koeltorens van de Clauscentrale bij Maasbracht

## Het elektriciteitsnet

Als er stroom door een kabel loopt, wordt hij warm. Dat komt doordat een deel van de elektrische energie wordt omgezet in warmte. Hierdoor ontstaat **energieverlies**: er blijft minder elektrische energie over voor de eindgebruikers.

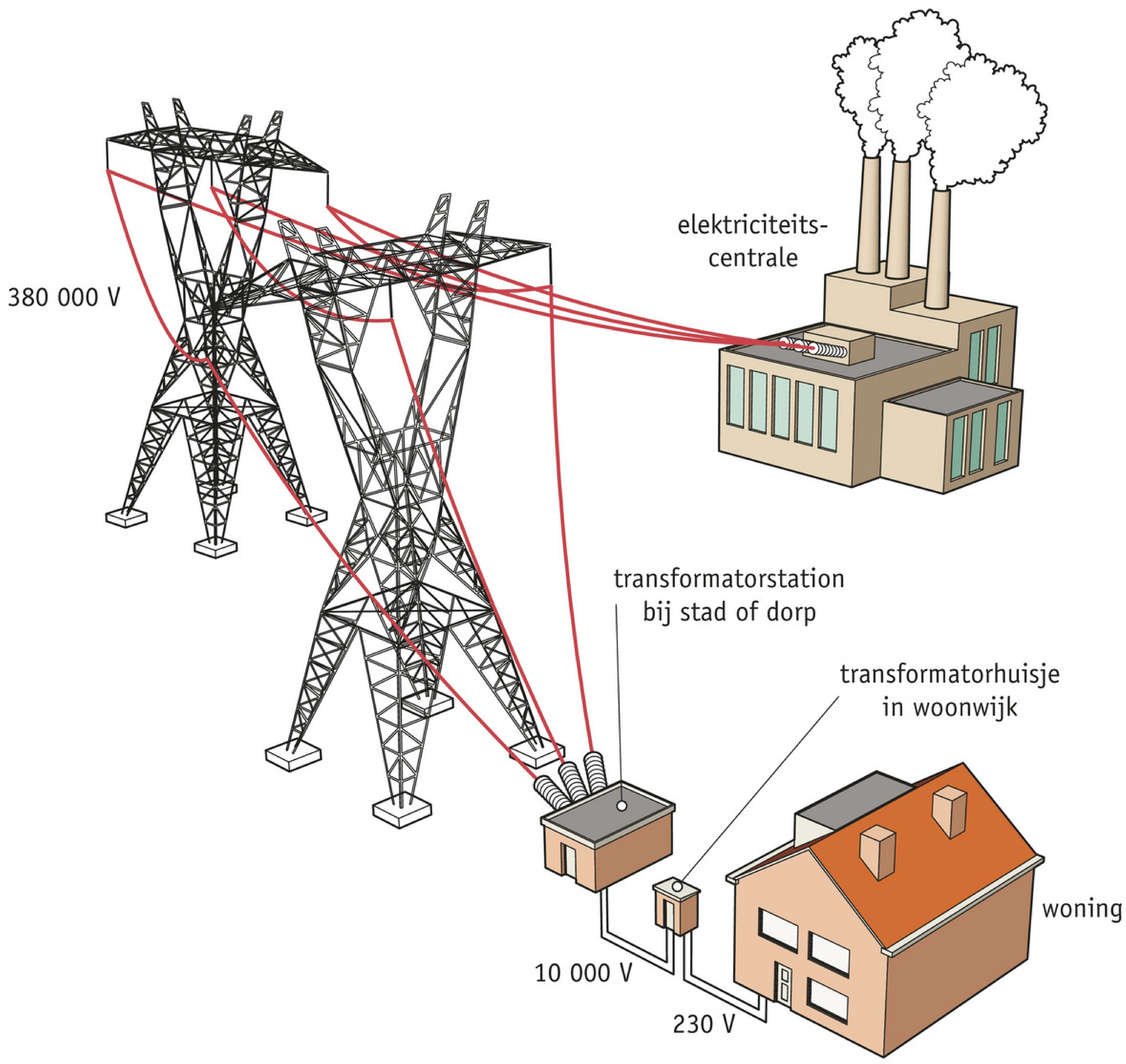
Om het energieverlies te beperken, kun je elektrische energie het best vervoeren bij een zo hoog mogelijke spanning. Hoe hoger de gebruikte spanning, des te kleiner is het energieverlies – en de warmteontwikkeling – in de leidingen.

De spanning die de generatoren leveren, wordt daarom bij de centrale omhoog getransformeerd. In Nederland wordt voor het vervoer over grote afstanden een **hoogspanning** van 380 kilovolt (kV) gebruikt. Bovengrondse hoogspanningsleidingen vervoeren de elektrische energie naar verschillende verdeelstations (figuur 4). Daar wordt de spanning weer naar beneden getransformeerd tot 10 kV. Vervolgens wordt de elektrische energie via ondergrondse kabels vervoerd naar woonwijken en industrieterreinen.



▲ **figuur 4**
Hoogspanningsmasten transporteren elektrische energie onder hoge spanning.

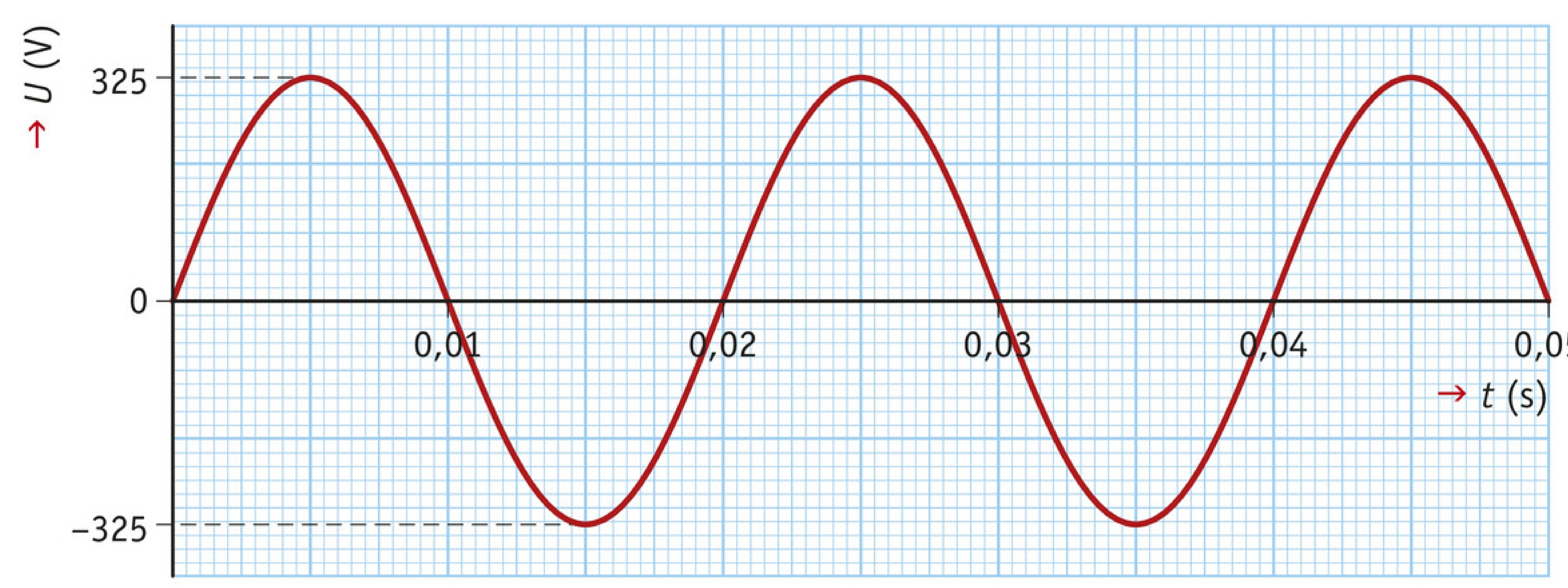
In elke woonwijk staan een of meer transformatorhuisjes (figuur 5). Daar wordt de spanning getransformeerd naar de **netspanning** van 230 V, voordat de elektrische energie naar de woningen wordt getransporteerd.




▶ **figuur 5**
Het elektriciteitsnet brengt elektrische energie van de centrale naar de eindverbruiker.

## De spanning van het lichtnet

Het lichtnet levert geen onveranderlijke **gelijkspanning**, zoals een batterij of een accu. De spanning van het lichtnet gaat juist voortdurend op en neer, volgens een patroon dat zich vijftig keer per seconde herhaalt: van 325 V via 0 V naar −325 V en weer omhoog naar 325 V (figuur 6). Het is een **wisselspanning** met een frequentie van 50 Hz.




▲ **figuur 6**
een wisselspanning van 50 Hz

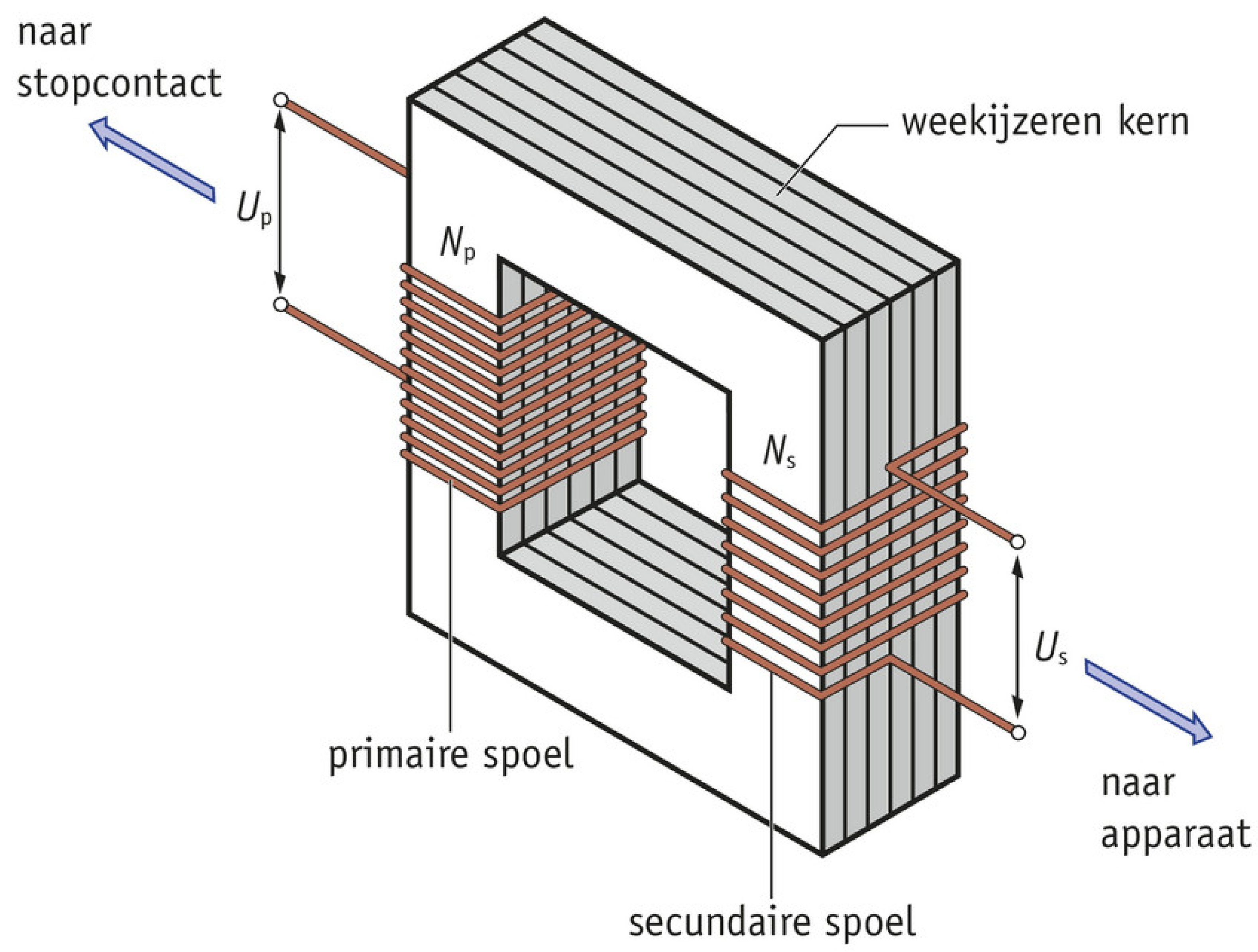
Voor veel apparaten maakt het niet uit of ze op de wisselspanning van het lichtnet werken of op een gelijkspanning van 230 V. Een waterkoker bijvoorbeeld produceert in beide gevallen evenveel warmte. Je zegt daarom dat de **effectieve spanning** van het lichtnet 230 V is. In de praktijk wordt het woord ‘effectieve’ vaak weggelaten en zeg je gewoon dat het lichtnet ‘een spanning levert van 230 V’.

Voor sommige elektrische apparaten is de spanning van het lichtnet nog te hoog, zoals voor een deurbel of voor een bureaulamp met een halogeenlampje. Dit soort apparaten heeft een transformator die de spanning nog verder naar beneden brengt.

## De werking van een transformator Proef 1

In figuur 7 is een eenvoudige transformator getekend voor gebruik in huis. Het apparaat bestaat uit twee spoelen van geïsoleerde koperdraad om een weekijzeren kern. De **primaire spoel** wordt verbonden met het lichtnet, de **secundaire spoel** met het apparaat.

- Als de transformator in gebruik is, loopt er een wisselstroom door de primaire spoel. De primaire spoel wordt daardoor een **elektromagneet**. Doordat de stroom steeds van grootte en richting verandert, doet het opgewekte magneetveld dat ook.
- De weekijzeren kern wordt hierdoor gemagnetiseerd. De magnetisering verandert mee met het magneetveld van de primaire spoel: honderd keer per seconde draait de richting van het magneetveld om, net als de wisselstroom door de primaire spoel.
- Het gevolg is dat er ook in de secundaire spoel een veranderend magneetveld ontstaat. Dit magneetveld wekt op zijn beurt een (lagere) wisselspanning op tussen de uiteinden van de secundaire spoel. Dit is de spanning waarop het apparaat werkt.




▶ **figuur 7**
een transformator voor gebruik in huis (schematisch getekend)

De elektrische energie die de primaire spoel opneemt, wordt door de secundaire spoel weer afgegeven. Er loopt daarbij geen stroom van de primaire naar de secundaire spoel. De energie wordt vervoerd door het magneetveld; daar komt geen elektriciteit aan te pas. Je zegt daarom dat de spoelen **magnetisch** aan elkaar **gekoppeld** zijn.

### Omhoog en omlaag transformeren

De spanning waarop de primaire spoel aangesloten wordt, noem je de **primaire spanning** $U_p$. De spanning die de secundaire spoel levert, noem je de **secundaire spanning** $U_s$. Als een transformator de spanning omhoog transformeert, is $U_s$ groter dan $U_p$. Bij het omlaag transformeren is $U_s$ kleiner dan $U_p$.

Of de spanning hoger of lager wordt, hangt af van het aantal windingen van beide spoelen. Voor de verhouding tussen $U_p$ en $U_s$ geldt namelijk:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$N_p$ is het aantal windingen van de primaire spoel en $N_s$ het aantal windingen van de secundaire spoel.

***Voorbeeldopgave 1***
De transformator van een deurbel zet een wisselspanning van 230 V om in een wisselspanning van 12 V. De primaire spoel heeft 400 windingen. Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

gegevens — primaire spoel: $U_p = 230$ V, $N_p = 400$; secundaire spoel: $U_s = 12$ V

gevraagd — $N_s = ?$

uitwerking

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} \rightarrow \frac{230}{12} = \frac{400}{N_s}$$

$230 \times N_s = 400 \times 12 = 4800$

$N_s = 4800 : 230 \approx 21$ windingen

## Plus De ideale transformator

Een transformator is een energie-omzetter: hij zet elektrische energie met een hoge spanning om in elektrische energie met een lage spanning, of omgekeerd. Daarbij gaat er maar heel weinig energie verloren. In berekeningen kun je er vaak van uitgaan dat er helemaal geen energieverlies is. De fout die daardoor ontstaat, is in de praktijk te verwaarlozen.

Bij een **ideale transformator** (zonder energieverlies) is het opgenomen vermogen (van de primaire spoel) gelijk aan het afgestane vermogen (van de secundaire spoel). In formulevorm:

$$P_p = P_s \quad \text{of} \quad U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$$

▼ **figuur 8**
een lasapparaat




***Voorbeeldopgave 2***
Een lasapparaat (figuur 8) wordt aangesloten op het lichtnet (230 V). Bij het lassen is de stroomsterkte door de primaire spoel 16 A. De secundaire spoel levert een spanning van 48 V.
Bereken de stroomsterkte in de secundaire spoel. Ga ervan uit dat de transformator in het lasapparaat ideaal is.

| | | |
|---|---|---|
| gegevens | primaire spoel: | secundaire spoel: |
| | $U_p = 230$ V | $U_s = 48$ V |
| | $I_p = 16$A | |
| gevraagd | $I_s = ?$ | |
| uitwerking | $U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$ | |
| | $230 \times 16 = 48 \times I_s$ | |
| | $3680 = 48 \times I_s$ | |
| | $I_s = 3680 : 48 \approx 77$ A | |

**opgaven** **Leerstof**

**1** Beantwoord de volgende vragen.
**a** Wanneer moeten er bij een elektriciteitscentrale koeltorens gebouwd worden?
**b** Waarom wordt elektrische energie vervoerd bij een zo hoog mogelijke spanning?
**c** Wat wordt bedoeld met ‘wisselspanning met een frequentie van 50 Hz’? Leg uit.
**d** Wat bepaalt of een transformator de spanning omhoog of juist omlaag brengt?

**2** Bekijk de afbeelding van de elektriciteitscentrale in figuur 2.
**a** Waarvoor wordt de warmte gebruikt die de branders produceren?
**b** Hoe wordt de as van de turbine daarna aan het draaien gebracht?
**c** Welk apparaat gebruikt die beweging om elektriciteit op te wekken?
**d** Waar wordt de ontstane spanning ten slotte omgezet in hoogspanning?

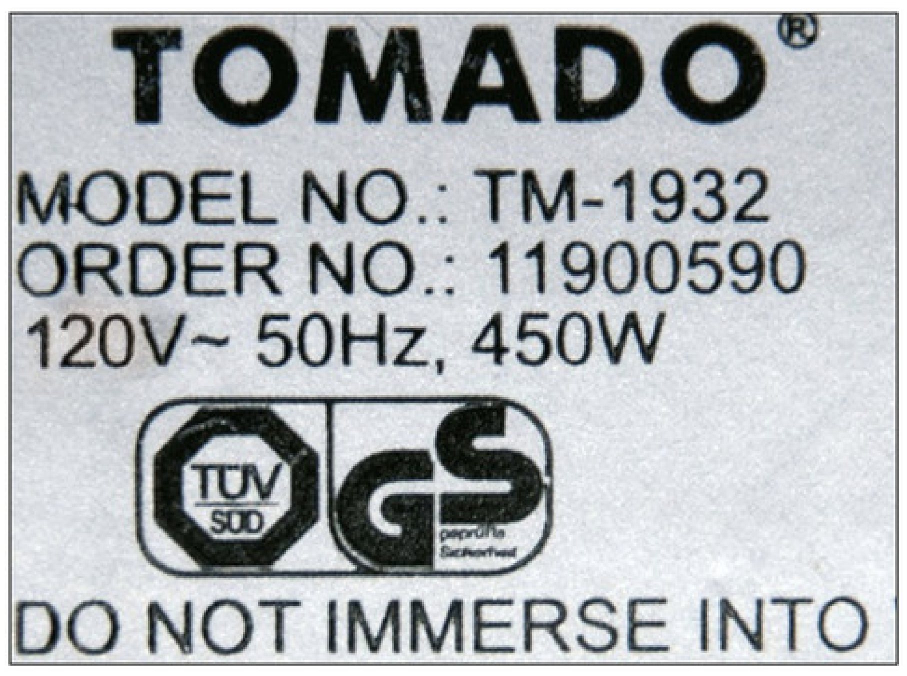
**3** Een transformator bestaat uit twee spoelen en een metalen kern.
**a** Van welk metaal is de kern gemaakt?
**b** Waarom wordt dit metaal gekozen?

## Toepassing

**4** Francisca laadt haar mobieltje op met een adapter. Tussen de elektriciteitscentrale en haar mobieltje is de spanning verschillende keren omhoog en omlaag getransformeerd.
Neem tabel 1 over en vul hem in. Kies bij de spanningen uit:
*12 V – 230 V – 10 kV – 380 kV.*

▼ **tabel 1** vier keer de spanning transformeren

| de transformator | transformeert de spanning | | |
|---|---|---|---|
| | omhoog/omlaag | van | naar |
| in de elektriciteitscentrale | 0 | 20 kV | |
| in het transformatorstation buiten de stad of het dorp | | | |
| in het transformatorhuisje in de stad of het dorp | | | |
| in de adapter van haar mobieltje | | | |




▲ **figuur 9** het typeplaatje van Suzy's koffiemachine

**5** De Amerikaanse Suzy is verhuisd naar Nederland. Ze wil haar koffiemachine uit de VS aansluiten op het Nederlandse lichtnet (figuur 9).
Met dat doel kocht ze "a voltage converter which converts the European voltage – a whopping 230 V – to the standard USA mains voltage".
De transformator in de omvormer heeft een secundaire spoel met 500 windingen.
Bereken het aantal windingen van de primaire spoel.

**6** Op een deurbel staat: 8,0 V/0,60 A. De bel is via een transformator op het lichtnet (230 V) aangesloten.
Bereken de verhouding tussen het aantal windingen in de primaire spoel en het aantal windingen in de secundaire spoel.

**7** Netta heeft drie spoelen: spoel A met 100 windingen, spoel B met 200 windingen en spoel C met 400 windingen. Ze kan een eenvoudige transformator maken door twee van de spoelen over een weekijzeren kern te plaatsen.
Met welke combinatie van spoelen kan Netta een wisselspanning van 6 V:

- **a** omhoog transformeren tot 12 V (twee mogelijkheden)?
- **b** omhoog transformeren tot 24 V?
- **c** omlaag transformeren tot 3 V (twee mogelijkheden)?
- **d** omlaag transformeren tot 1,5 V?

**8** Boudewijn heeft een spanningsbron die alleen een spanning van 6,0 V levert. Voor de proef die hij wil doen, heeft hij een hogere spanning nodig. Daarom besluit hij om zelf een transformator te maken. Hij heeft daarvoor de keuze uit vier spoelen, met respectievelijk 200, 300, 400 en 600 windingen.

- **a** Met welke combinatie van spoelen kan Boudewijn de spanning het verst omhoog brengen?
- **b** Bereken hoe groot de secundaire spanning wordt, als hij die combinatie gebruikt.

**c** Op de spanningsbron zit een schakelaar met twee standen:
= (gelijkspanning) en ~ (wisselspanning).
Leg uit op welk soort spanning Boudewijn de schakelaar moet zetten.

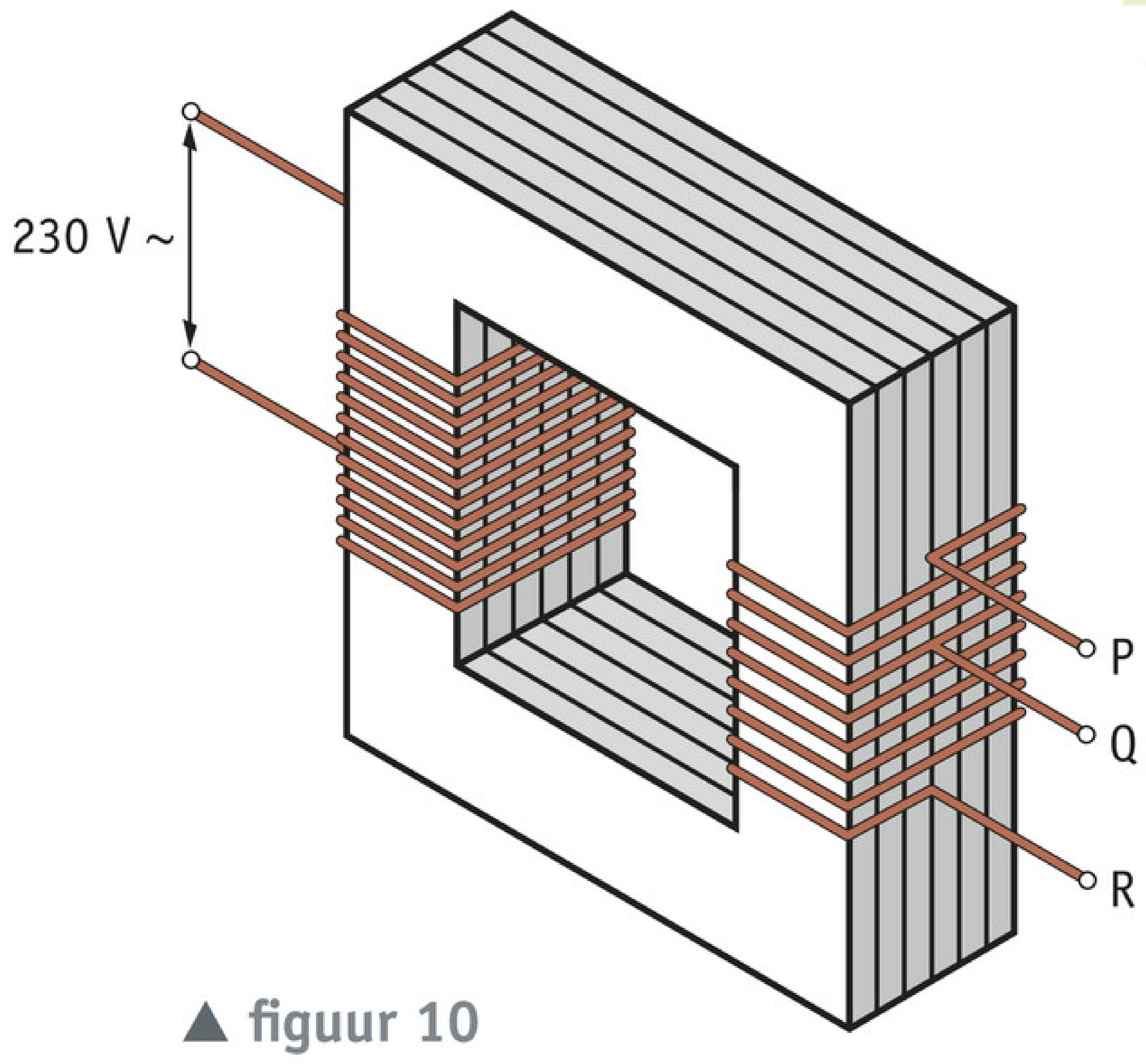
**9** Transformatoren worden vaak gebruikt als ‘veiligheidstransformator’. Zo’n transformator zet de spanning van het lichtnet (230 V) om in een veilige laagspanning.

**a** De beide spoelen van een veiligheidstransformator moeten goed van elkaar gescheiden zijn (door isolerend materiaal).
Leg uit waarom dat nodig is.

**b** Noteer twee situaties waarin een veiligheidstransformator wordt toegepast.

**c** Een veiligheidstransformator transformeert de spanning van het lichtnet omlaag naar 12 V. De primaire spoel heeft 115 windingen.
Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

## Plus De ideale transformator




▲ **figuur 10**
een beltransformator

***10** Een elektrische deurbel werkt op de laagspanning van een beltransformator. In figuur 10 is zo’n beltransformator schematisch getekend. De primaire spoel is aangesloten op het lichtnet (230 V). Aan de secundaire kant heb je drie aansluitmogelijkheden: 3 V, 5 V of 8 V.

**a** Hoe groot zal de spanning zijn tussen de aansluitpunten P en Q: 3 V, 5 V of 8 V? Licht je antwoord toe.

**b** De primaire spoel heeft 800 windingen.
Bereken het (totale) aantal windingen van de secundaire spoel.

**c** Een bel wordt aangesloten op de aansluitpunten Q en R. Als iemand aanbelt, loopt er een stroom van 1,6 A door de secundaire stroomkring.
Bereken de stroomsterkte door de primaire spoel. Neem daarbij aan dat de transformator ideaal is.

***11** Bij berekeningen wordt vaak aangenomen dat een transformator ideaal is. Leo wil onderzoeken hoeveel een echte transformator afwijkt van dat ideaal. Hij gebruikt daarvoor de opstelling van figuur 11. Bij één van zijn proeven noteert Leo de volgende gegevens:

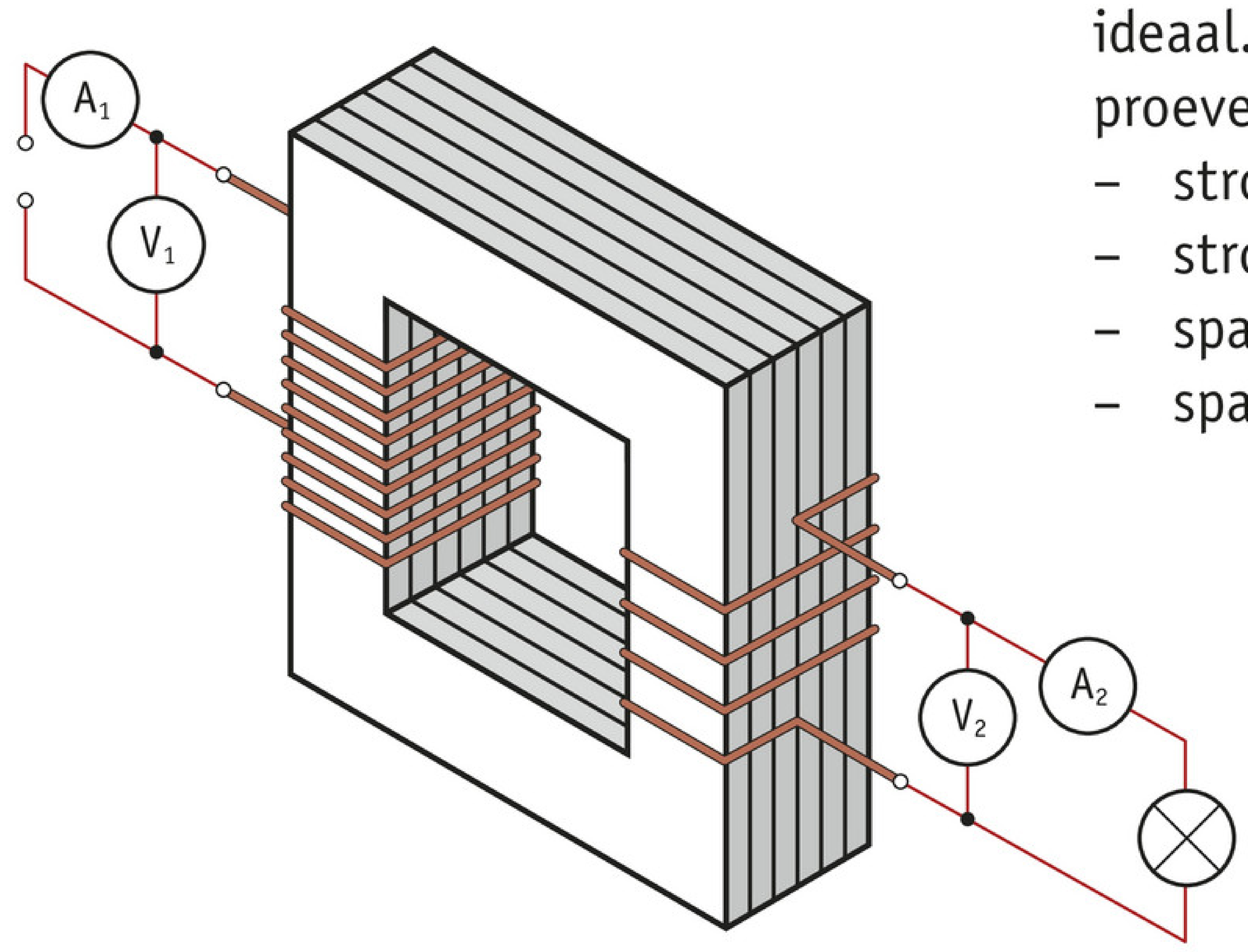
- stroommeter 1: 0,25 A
- stroommeter 2: 0,42 A
- spanningsmeter 1: 12,0 V
- spanningsmeter 2: 6,0 V

**a** Wat is een ideale transformator?

**b** Bereken het vermogen dat de primaire spoel opneemt.

**c** Bereken het vermogen dat de secundaire spoel afgeeft.

**d** Bereken hoeveel procent verloren gaat van het elektrische vermogen dat de primaire spoel opneemt.




▲ **figuur 11**
een schematische tekening van Leo’s proefopstelling

# 2 Vermogen en energie

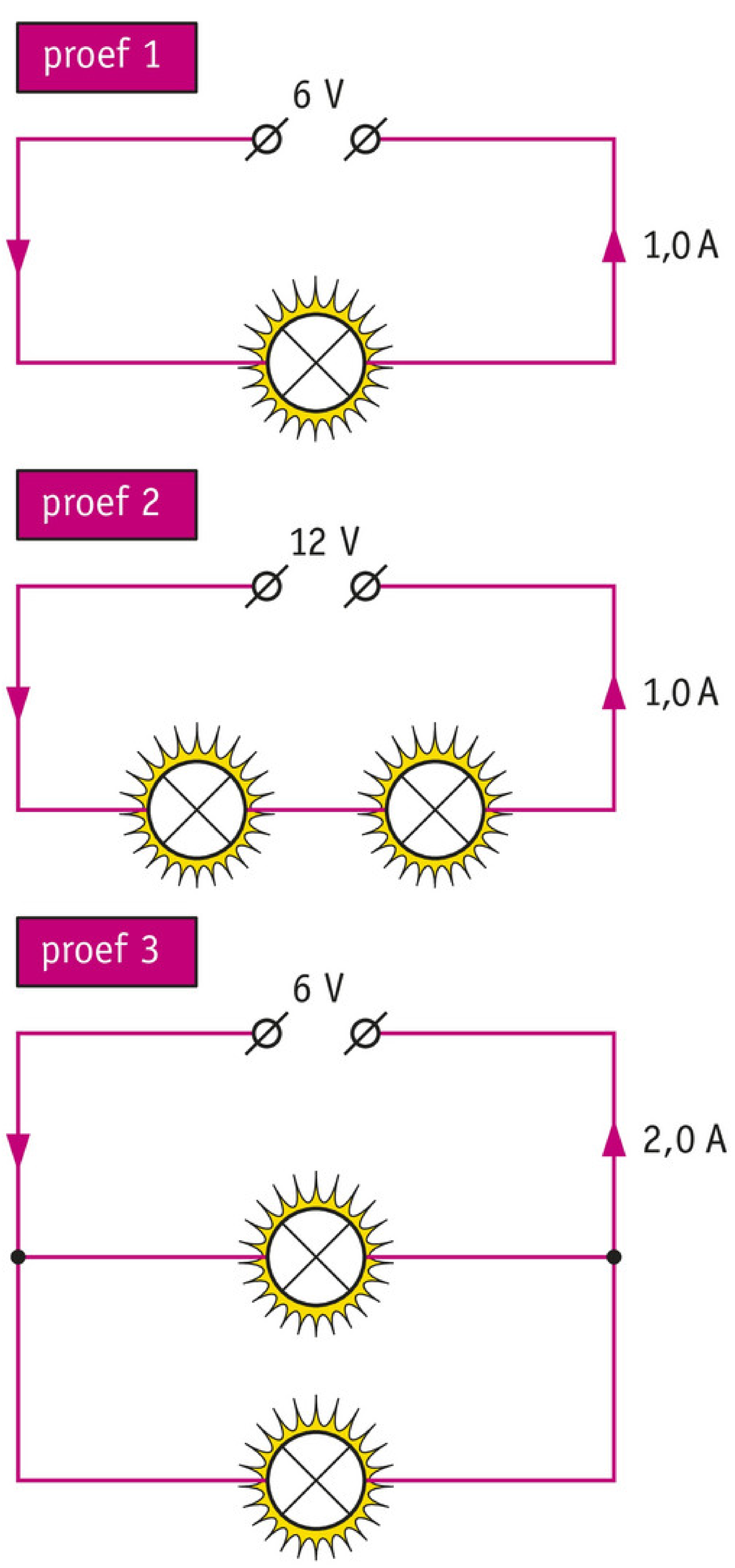
**Televisietoestellen zijn niet allemaal even zuinig met elektrische energie. Het ene toestel verbruikt in twee uur, waar het andere drie uur over doet. Het kan daarom voordelig zijn om een nieuw, energiezuinig tv-toestel te kopen. Dat verdient zichzelf terug, doordat de jaarlijkse energierekening tientallen euro's lager uitvalt.**

## Elektrisch vermogen

Op elk elektrisch apparaat staat aangegeven hoeveel elektrische energie het apparaat per seconde verbruikt. Dit wordt het **vermogen** van het apparaat genoemd. De eenheid van vermogen is de watt (W). Als een apparaat een variabel vermogen heeft, zoals een mixer met verschillende standen, wordt de maximale waarde vermeld (figuur 12).




▲ **figuur 12**
een mixer met een maximaal vermogen van 175 W




▲ **figuur 13**
Het vermogen hangt af van de spanning en de stroomsterkte.

Het vermogen van een apparaat hangt af van twee factoren: de spanning (over het apparaat) en de stroomsterkte (door het apparaat). Dat dit zo is, kun je nagaan door proeven te doen zoals in figuur 13.

- In proef 1 brandt één lampje op een spanning van 6,0 V. De stroomsterkte door het lampje is dan 1,0 A.
- In proef 2 zijn twee lampjes in serie aangesloten. Om de twee lampjes elk even fel te laten branden als het lampje in proef 1, moet de spanning verhoogd worden tot 12 V. Over elk lampje staat dan 6,0 V. Je ziet: als de spanning verdubbelt, verdubbelt het vermogen ook.
- In proef 3 zijn twee lampjes parallel geschakeld. De spanningsbron is weer ingesteld op 6 ,0 V. Door elk lampje loopt dan een stroom van 1,0 A, zodat ze elk even fel branden als het lampje in proef 1. Je ziet: als de totale stroomsterkte verdubbelt tot 2,0 A, verdubbelt het vermogen ook.




## Stop sluipverbruik van apparaten

**Veel apparaten verbruiken energie als ze niet gebruikt worden, maar de stekker wel in het stopcontact zit. Dit noemen we stand-by verbruik of sluipverbruik.**

**De top 5 van grootste sluipverbruikers bestaat uit:**

1. **computer met randapparatuur: € 33,- per jaar**
2. **tv plus video- of dvd-speler: € 15,- per jaar**
3. **koffiezetapparaat: € 6,- per jaar**
4. **tuner, versterker en cd-speler: € 6,- per jaar**
5. **(combi) magnetron: € 4,- per jaar**

**Stand-by verspilling is simpel te voorkomen met stand-by killers.**

*Bron: www.nuon.nl*

▲ **figuur 14**
Sluipverbruikers hebben een klein vermogen, maar staan wel dag en nacht aan.

Uit dit soort proeven blijkt dat het vermogen afhangt van de spanning én van de stroomsterkte. Je kunt het elektrische vermogen daarom berekenen met de formule:

$$P = U \cdot I$$

Als je de spanning $U$ invult in volt (V) en de stroom $I$ in ampère (A), vind je het vermogen $P$ in watt (W).

### Het energieverbruik berekenen

Een apparaat kan wel een groot vermogen hebben, maar als je het weinig gebruikt, valt het energieverbruik wel mee. Omgekeerd kan een apparaat met een klein vermogen een onverwacht hoog energieverbruik hebben, als het dag en nacht aanstaat (figuur 14). Het energieverbruik van een apparaat wordt dus niet alleen bepaald door het vermogen, maar ook door de tijd dat het energie verbruikt.

Je kunt het energieverbruik berekenen door het vermogen te vermenigvuldigen met de tijd. In formulevorm:

$$E = P \cdot t$$

Als je het vermogen $P$ invult in watt (W) en de tijd $t$ in seconden (s), vind je het energieverbruik $E$ in joule (J).

***Voorbeeldopgave 3***
Johan gebruikt een mixer van 175 W om slagroom te kloppen. Na 3,0 min kloppen is de slagroom klaar en zet hij het apparaat weer uit. Bereken het energieverbruik van de mixer (in kJ).

gegevens: $P = 175$ W
$t = 3{,}0$ min $= 180$ s

gevraagd: $E = ?$

uitwerking: $E = P \cdot t = 175 \times 180 = 31\,500 \text{ J} \approx 32 \text{ kJ}$

### De joule als eenheid van energie

Met één joule elektrische energie kun je niet veel doen. Je kunt met deze hoeveelheid energie bijvoorbeeld:

- een lampje van 1 watt 1 seconde lang laten branden;
- een voorwerp van 100 gram circa 1 meter omhoog hijsen;
- de temperatuur van 1 gram water met 0,24 °C laten stijgen.

De hoeveelheden elektrische energie die elektrische apparaten verbruiken, zijn veel groter. Daarom worden dat soort hoeveelheden vaak gemeten in kilojoule (kJ) en megajoule (MJ). Die hebben daarvoor een handige grootte. De batterij van een smartphone bevat bijvoorbeeld 15 à 25 kJ elektrische energie, als hij opgeladen is. En een gezin van vier personen verbruikt per dag gemiddeld 45 MJ aan elektrische energie.




▲ **figuur 15**
de energie in pindakaas

De joule wordt niet alleen gebruikt voor elektrische energie, maar ook voor andere soorten energie. De energiewaarde van levensmiddelen wordt bijvoorbeeld vaak uitgedrukt in kilojoule per 100 gram. Op het etiket in figuur 15 zie je dat 100 g pindakaas 2700 kJ energie levert. Als je 15 g pindakaas op een boterham smeert, is de energiewaarde daarvan dus $15 \times 27 = 405$ kJ.

## Energie meten in kWh Proef 2 en 3

Ook al is de joule de officiële eenheid van energie, toch staat er een andere eenheid op de elektriciteitsrekening: het kilowattuur (kWh). Dezelfde eenheid zie je ook staan op de meter die het verbruik van elektrische energie in huis meet (figuur 16). Zo'n meter wordt daarom een **kWh-meter** genoemd. Als je in de formule $E = P \cdot t$ het vermogen $P$ invult in kW en de tijd $t$ in h, vind je het energieverbruik $E$ in kWh.

Het kWh is een ouderwetse eenheid die eigenlijk overbodig is. Je kunt het energieverbruik in principe net zo gemakkelijk meten in MJ. Toch houden de energiebedrijven vast aan het kWh, omdat al hun systemen daarop ingesteld zijn. Bovendien zouden ze anders alleen al in Nederland zes tot zeven miljoen kWh-meters moeten vervangen door MJ-meters, en dat wordt veel te duur.

Omdat er twee eenheden naast elkaar bestaan, zul je af en toe een hoeveelheid energie moeten omrekenen van kWh naar J of omgekeerd. Onthoud dat 1 kWh gelijk is aan 3,6 MJ. Reken zelf maar na: als een apparaat van 1 kW (= 1000 W) precies 1 uur (= 3600 s) aanstaat, verbruikt het:

| | |
|---|---|
| $E = P \cdot t$ | $E = P \cdot t$ |
| $E = 1\ \text{kW} \times 1\ \text{h}$ | $E = 1000\ \text{W} \times 3600\ \text{s}$ |
| $E = 1\ \text{kWh}$ | $E = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J} = 3{,}6\ \text{MJ}$ |




◀ **figuur 16**
Een kWh-meter meet het verbruik van elektrische energie.



▲ figuur 17
Marjans bureaulamp

***Voorbeeldopgave 4***
Marjan schat dat haar bureaulamp (13 W) in een maand ongeveer 60 uur brandt (figuur 17).
Bereken:
- hoeveel elektrische energie de lamp in 60 uur verbruikt;
- hoeveel die elektrische energie kost. 1 kWh kost € 0,22 (prijspeil 2014).

gegevens $P$ = 13 W = 0,013 kW
$t$ = 60 h

gevraagd $E$ = ?

uitwerking $E = P \cdot t = 0{,}013 \times 60 \approx 0{,}78$ kWh
prijs: 0,78 × € 0,22 ≈ € 0,17

## Plus Het vermogen van een mens

Je lichaam werkt op de energie in je voedsel. Dat merk je als je gaat sporten met een lege maag: je krijgt al snel gebrek aan energie. Wielrenners moeten veel eten om de voorraad energie in hun lichaam op peil te houden: niet alleen voor en na een wedstrijd, maar ook als ze aan het fietsen zijn (figuur 18).

De hoeveelheid energie die je lichaam per seconde verbruikt, wordt het **opgenomen vermogen** genoemd. Als je een uur lang zo snel mogelijk fietst, is je opgenomen vermogen 200 tot 400 W. Je lichaam heeft dan elke seconde 200 tot 400 J aan energie nodig om de inspanning vol te houden. Een profwielrenner kan tijdens een wedstrijd wel 1600 W halen.

▼ figuur 18
Wielrenners krijgen ook tijdens een wedstrijd te eten en te drinken.




Je lichaam gebruikt ongeveer 25% van de opgenomen energie om te bewegen. De rest wordt omgezet in warmte. Daardoor krijg je het snel warm, als je aan het sporten bent. Het **nuttige vermogen** is dus maar 25% van het opgenomen vermogen. Bij langdurige inspanning ligt je nuttig vermogen tussen de 50 en 100 W. Een keukenmixer, die veel efficiënter met energie omgaat, komt daar gemakkelijk bovenuit.

**opgaven** **Leerstof**

**12** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Door welke twee factoren wordt het vermogen van een elektrisch apparaat bepaald?

**b** Hoe kan het dat een apparaat met een klein vermogen soms verrassend veel energie verbruikt?

**c** Met welke formule kun je het energieverbruik van een elektrisch apparaat berekenen?

**d** Met welk instrument wordt gemeten hoeveel elektrische energie er in huis verbruikt wordt?

**13** In tabel 2 zie je een overzicht van grootheden en eenheden die in deze paragraaf gebruikt worden.
Noteer de ontbrekende woorden en letters in de tabel.

▼ **tabel 2** grootheden en eenheden

| grootheid | symbool | eenheid | symbool |
|---|---|---|---|
| | | | A |
| | *U* | | |
| vermogen | | | |
| | | joule | |

## Toepassing

**14** Bereken hoe groot het vermogen is van de volgende apparaten.

**a** Antons rekenmachine werkt op een batterij van 1,5 V; de stroomsterkte is 0,08 mA.

**b** Birgits stofzuiger is op het lichtnet (230 V) aangesloten; de stroomsterkte is 7,8 A.

**c** Corry schakelt de startmotor van haar auto in; de accu levert 8,1 V bij een stroomsterkte van 160 A.

**15** Als een grote elektriciteitscentrale op piekvermogen werkt, levert hij een vermogen van 1200 MW aan het elektriciteitsnet. Een doorsnee huishouden neemt op de uren dat het elektriciteitsverbruik het hoogst is, gemiddeld een elektrisch vermogen van 800 W op.

**a** Zie vaardigheid 2 achter in het boek.
Bereken hoeveel huishoudens door de centrale van elektrische energie kunnen worden voorzien.

**Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.**

**b** De meeste elektriciteitscentrales werken gedurende het grootste deel van de dag ver onder hun piekvermogen.
Leg uit waarom dat zo is.

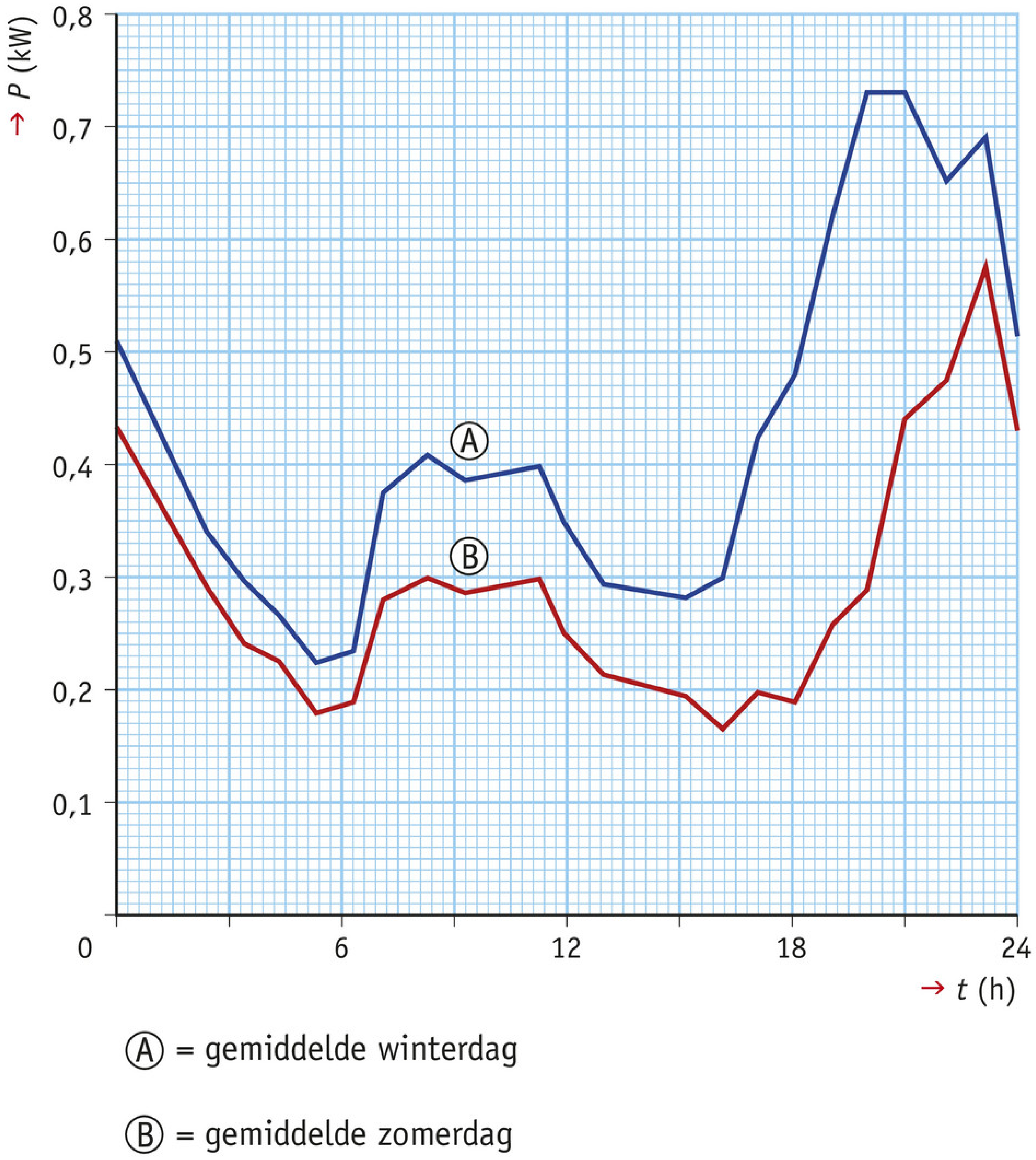
**16** In het woonhuis van een gemiddeld gezin staan altijd wel elektrische apparaten aan. Het vermogen van al deze apparaten samen noem je het totale aangesloten vermogen. In de grafiek van figuur 19 zie je hoe dit vermogen in de loop van de dag verandert.

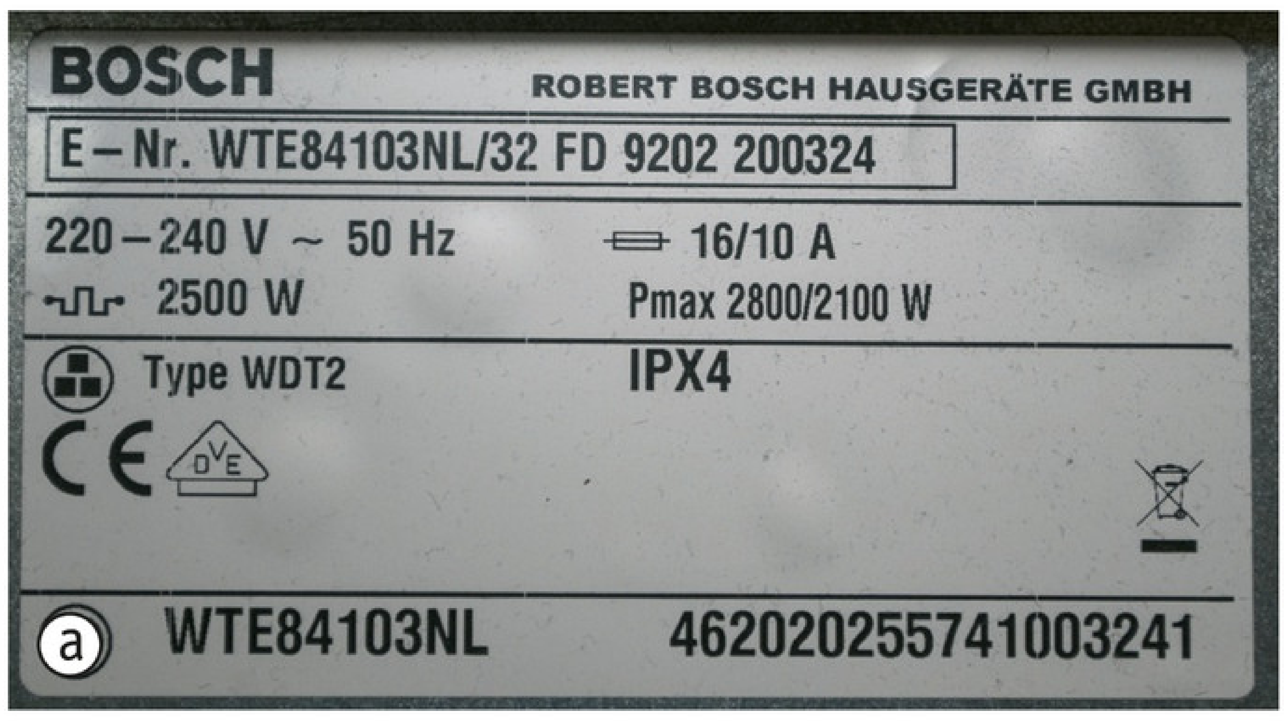
**a** Op welk tijdstip wordt 's winters het grootste vermogen afgenomen? Hoe groot is dat vermogen?

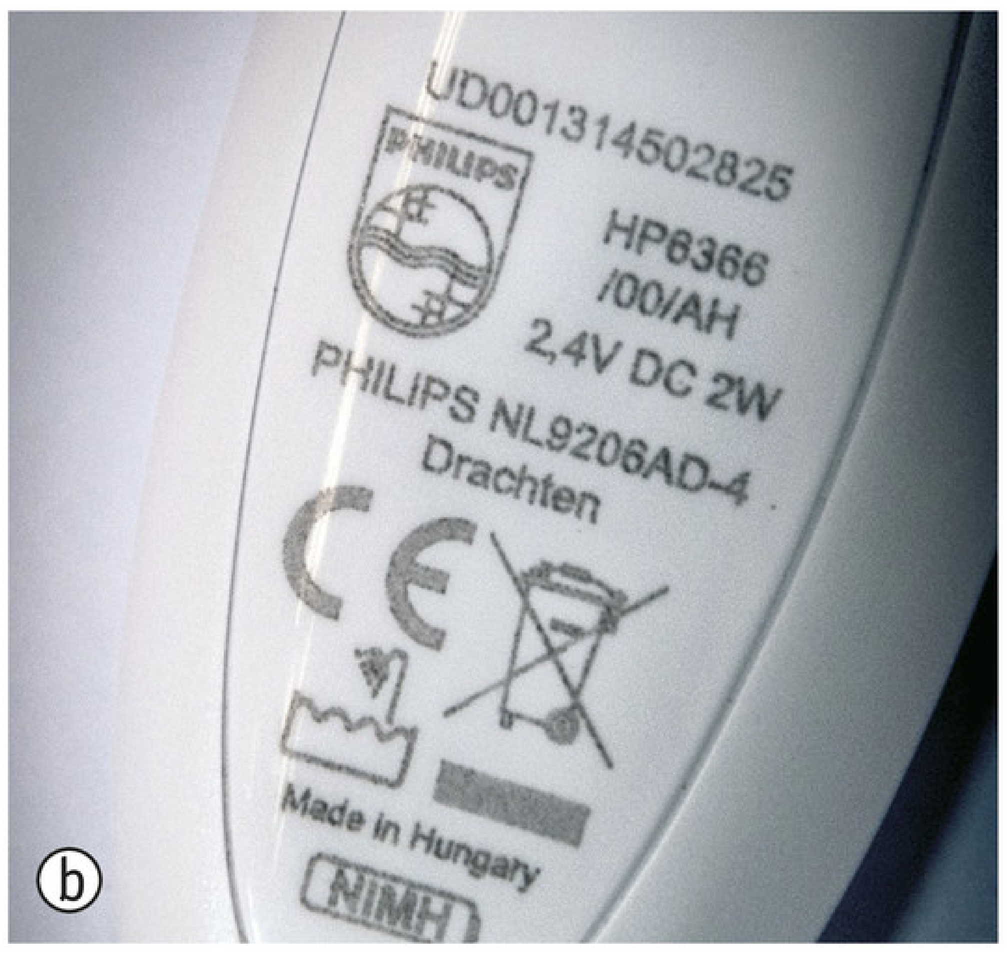
**b** Op welk tijdstip wordt 's zomers het grootste vermogen afgenomen? Hoe groot is dat vermogen?

**c** Leg uit dat door het invoeren van de zomertijd minder elektrische energie wordt verbruikt.

▼ **figuur 19**
Het opgenomen vermogen gaat flink op en neer.




▲ **figuur 20**
typeplaatjes van een wasdroger (a) en een scheerapparaat (b)

**17** Figuur 20 geeft de typeplaatjes van een wasdroger en een scheerapparaat.

**a** Zie vaardigheid 6 achter in het boek.
De wasdroger doet er 1,5 uur over om de was kastdroog te maken.
Bereken hoeveel elektrische energie daarvoor nodig is (in J en in kWh).

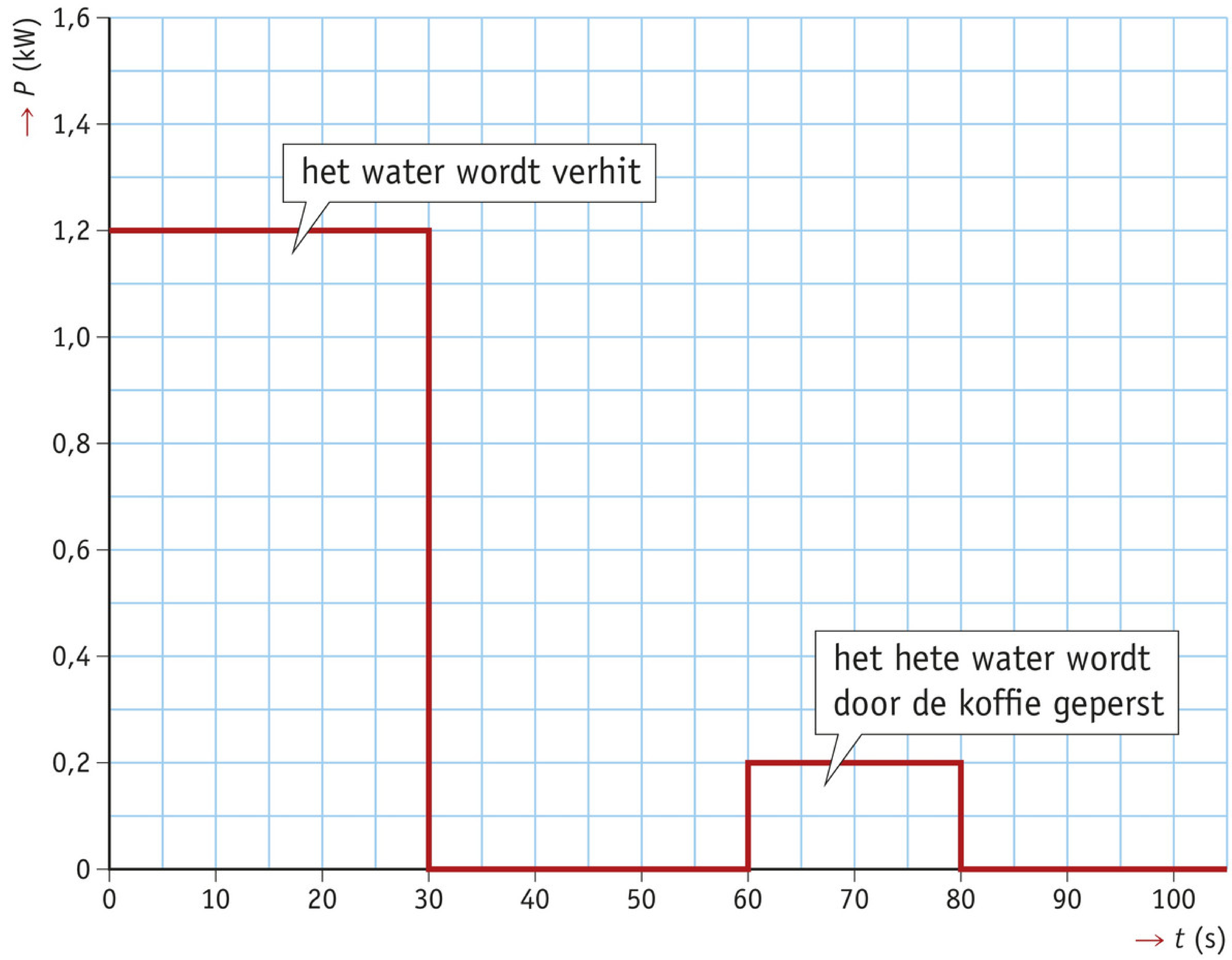
**b** Jan scheert 's ochtends in 6,0 min zijn gezicht weer lekker glad.
Bereken hoeveel elektrische energie daarvoor nodig is (in J en in kWh).

**Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.**

**c** Als je een elektrisch apparaat aanschaft, kan het vermogen een rol spelen.
Bij welk apparaat moet je daar zeker op letten: bij een wasdroger of bij een scheerapparaat? Licht je antwoord toe.

Ga er bij de volgende opgaven van uit dat 1 kWh elektrische energie € 0,22 kost.

**18** Met een koffiepadmachine kun je snel een kopje koffie zetten. Eerst maakt zo'n machine de juiste hoeveelheid water heet. Daarna perst hij het hete water onder hoge druk door een koffiepad. In figuur 21 kun je zien hoe het vermogen daarbij omhoog en omlaag gaat.
Bereken met de gegevens in de figuur hoeveel elektrische energie er nodig is om één kopje koffie te zetten.

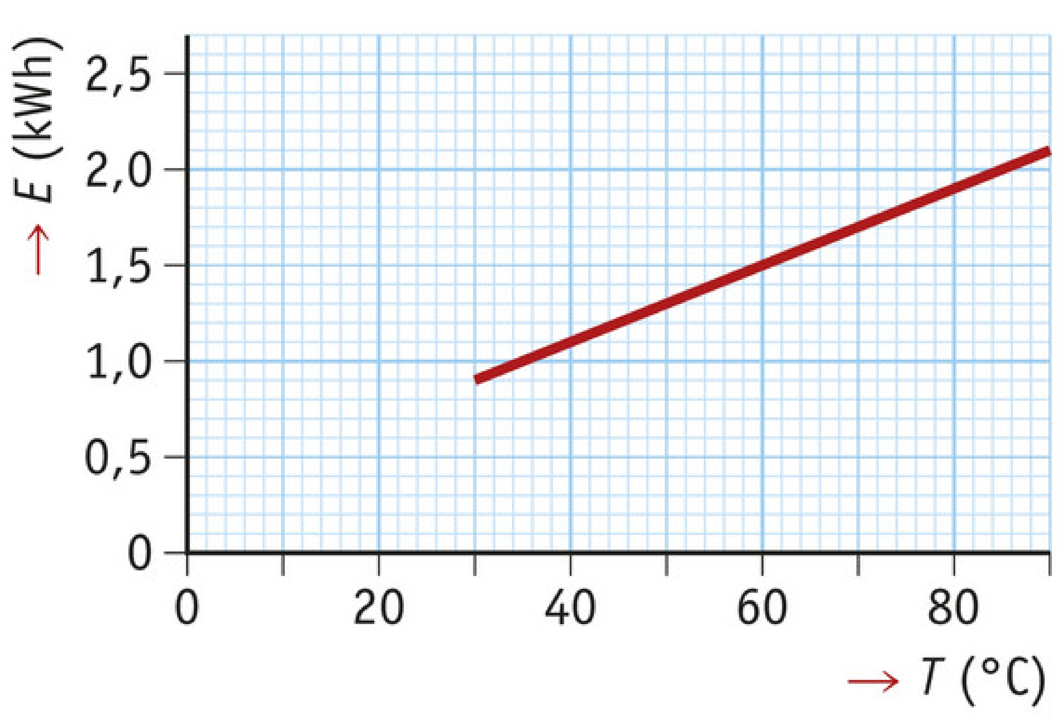



▶ **figuur 21**
het (*P*,*t*)-diagram van een koffiepadmachine

***19** Desirée wast haar kleren in twee wasbeurten per week. Ze stelt de wasmachine daarbij in op 60 °C. In figuur 22 is het energieverbruik per wasbeurt van haar wasmachine uitgezet tegen de temperatuur van het waswater.

**a** Bereken hoeveel elektrische energie de wasmachine in één jaar verbruikt.

**b** Desirée wil bezuinigen op haar energiekosten. Ze besluit om haar kleren voortaan op 30 °C wassen.
Bereken hoeveel geld Desirée daarmee per jaar kan besparen.




*T* = temperatuur waswater
*E* = energieverbruik per wasbeurt

▲ **figuur 22**
het energieverbruik per wasbeurt

***20** Als Jacqueline geen tv kijkt, staat haar toestel altijd stand-by. Ze vraagt zich af of haar energierekening daar veel hoger van wordt. Om daar achter te komen, meet ze het vermogen van haar tv in de stand-bystand: dat blijkt 4,0 W te zijn.

**a** Stel je voor dat het tv-toestel een heel jaar lang stand-by staat.
Bereken hoeveel elektrische energie het toestel in die tijd verbruikt.

**b** Bereken hoeveel voor die elektrische energie betaald moet worden.

**c** De stand-bystand kost niet zoveel als je bij b hebt uitgerekend.
Leg uit of Jacqueline in werkelijkheid meer of minder geld kwijt is.

## Plus Het vermogen van een mens

**21** Lees de tekst in figuur 23 over de energiebehoefte van jongeren.

**a** Met welke formule kun je het opgenomen vermogen berekenen, als het energieverbruik en de tijd gegeven zijn?

**b** Bereken hoe groot het opgenomen vermogen gemiddeld is:
- van een 14-jarige jongen.
- van een 14-jarig meisje.

**c** Vergelijk de waarden die je bij b berekend hebt, met de waarden voor het opgenomen vermogen die in de tekst staan. Verklaar de verschillen.

De gemiddelde energiebehoefte van een meisje van 14 jaar is 9,6 miljoen joule per dag; een jongen van 14 jaar heeft elke dag gemiddeld 12,6 miljoen joule nodig. Als je veel sport, is je energiebehoefte groter.



▲ **figuur 23** een gedeelte uit een leerboek over gezonde voeding

***22** Een bewegingswetenschapper gebruikt een proefopstelling met een hometrainer om het nuttig vermogen van een atleet te bepalen. Bij een van haar metingen fietst de atleet een halfuur lang in een constant hoog tempo. Uit de meting blijkt dat zijn nuttig vermogen tijdens het fietsen uitkwam op 350 W.

**a** Schat hoe groot het opgenomen vermogen van de atleet tijdens het fietsen was.

**b** Bereken (met je antwoord op a) hoeveel voedselenergie de atleet naar schatting heeft verbruikt.

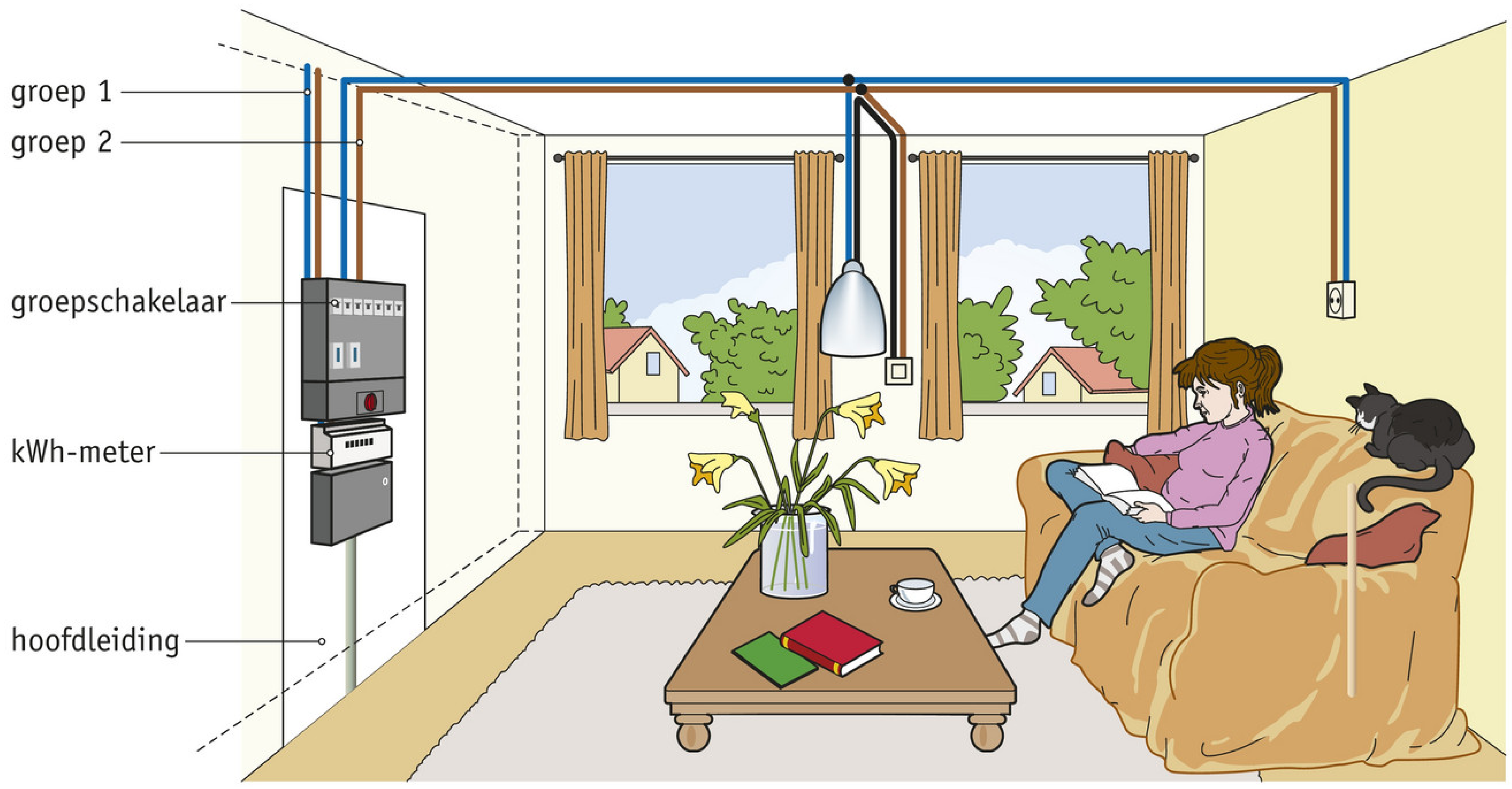
**c** Gekookte pasta heeft een energiewaarde van circa 480 kJ per 100 g. Hoeveel pasta moet de atleet eten om de energie die zijn lichaam tijdens het fietsen heeft verbruikt, weer helemaal aan te vullen?

# 3 Elektriciteit in huis

**De lijst met dingen waarvoor je elektrische energie nodig hebt, is lang. Doe-het-zelven, eten koken, gamen, informatie zoeken, koffiezetten, muziek luisteren, tv-kijken, de was doen: zonder een constante aanvoer van elektrische energie begin je niets.**

## De huisinstallatie

Door de muren en plafonds van een woonhuis loopt een netwerk van elektriciteitsdraden: de **huisinstallatie**. Daardoor kun je overal in huis gebruikmaken van elektrische energie. In figuur 24 zie je hoe de hoofdleiding bij de voordeur het huis binnenkomt. Na de kWh-meter splitst de leiding zich in vier tot zes parallelle groepen. In figuur 24 zijn voor de duidelijkheid twee van die groepen getekend.




**▶ figuur 24**
een deel van de huisinstallatie

Een groep bestaat uit een aantal parallel geschakelde vertakkingen die elk naar één stopcontact of één lichtpunt leiden. Dat betekent dat er op elk lichtpunt en elk stopcontact een spanning staat van 230 V. De spanning $U$ is dus overal in de groep even groot:

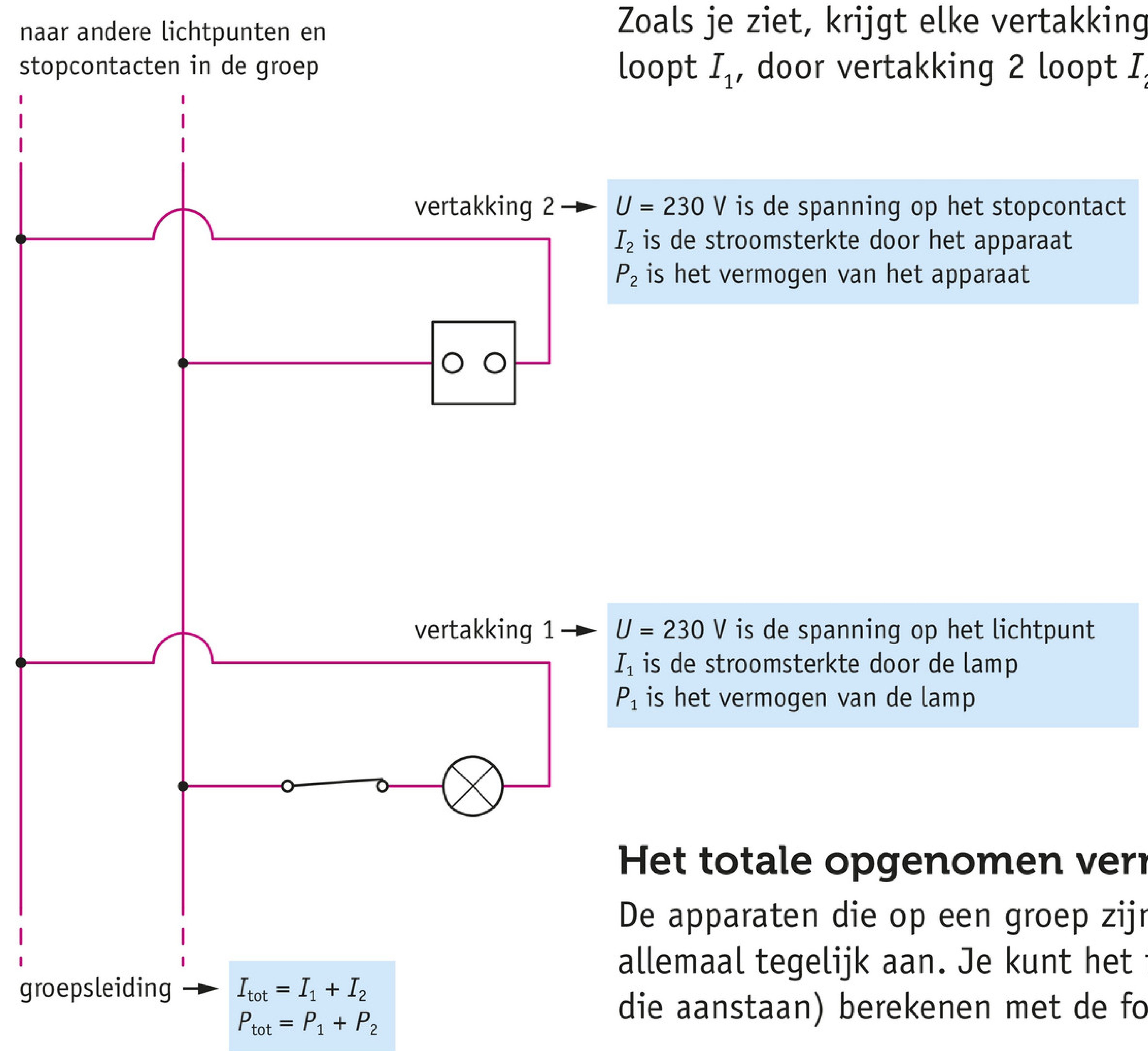
$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \ldots = 230 \text{ V}$$

Elke groep heeft een eigen **groepsschakelaar** waarmee je de stopcontacten en lichtpunten 'spanningsloos' kunt maken. Je kunt dan veilig een reparatie uitvoeren of een extra stopcontact aansluiten.

Als een apparaat aanstaat, loopt er stroom door de vertakking waarop het is aangesloten. Hoe groter het vermogen van het apparaat is, des te groter is de stroomsterkte. Als je de stroomsterktes in alle takken bij elkaar optelt, vind je de totale stroomsterkte $I_{tot}$ in de groep. In formulevorm:

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots$$

Zoals je ziet, krijgt elke vertakking een eigen nummer. Door vertakking 1 loopt $I_1$, door vertakking 2 loopt $I_2$, enzovoort (figuur 25).




▲ **figuur 25**
Alle lichtpunten en stopcontacten in een groep zijn parallel geschakeld.

## Het totale opgenomen vermogen

De apparaten die op een groep zijn aangesloten, staan bijna nooit allemaal tegelijk aan. Je kunt het totale vermogen $P_{tot}$ (van de apparaten die aanstaan) berekenen met de formule:

$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$$

Als een apparaat van 15 W en een apparaat van 40 W tegelijk aanstaan, is het totale opgenomen vermogen dus 55 W. Dat is logisch als je bedenkt dat 1 W overeenkomt met 1 J/s. Als het ene apparaat 15 J/s verbruikt en het andere 40 J/s, kom je in totaal uit op 55 J/s oftewel 55 W.

Met enig rekenwerk kun je nog een tweede formule voor $P_{tot}$ afleiden:

$$\begin{aligned} P_{tot} &= P_1 + P_2 + P_3 + \ldots \\ &= U \cdot I_1 + U \cdot I_2 + U \cdot I_3 + \ldots \\ &= U \cdot (I_1 + I_2 + I_3 + \ldots) \\ &= U \cdot I_{tot} \end{aligned}$$

Je kunt het totale opgenomen vermogen dus ook berekenen door de netspanning (230 V) te vermenigvuldigen met de totale stroomsterkte:

$$P_{tot} = U \cdot I_{tot}$$

***Voorbeeldopgave 5***
Op één groep van een huisinstallatie zijn de volgende apparaten aangesloten:
- een magnetron van 800 W
- een waterkoker van 2000 W
- een afzuigkap van 150 W
- zes ledlampen van elk 3,0 W

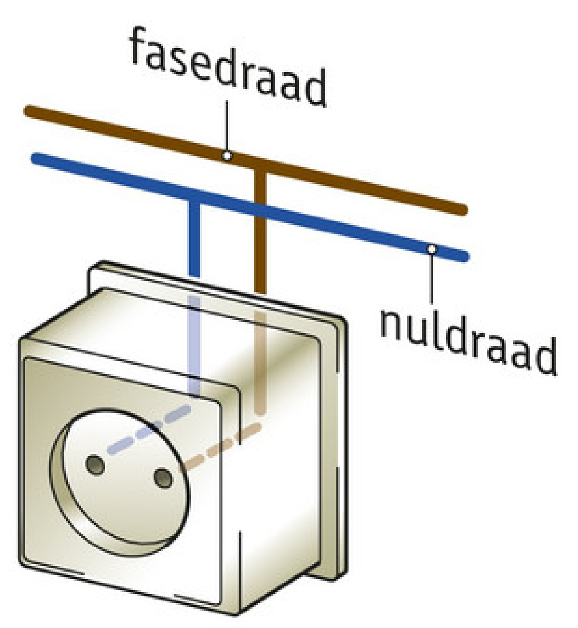
Bereken de totale stroomsterkte in de groepsleiding.

gegevens
$P_1 = 800$ W
$P_2 = 2000$ W
$P_3 = 150$ W
$P_4 = 6 \times 3{,}0 = 18$ W
$U = 230$ V

gevraagd
$I_{tot} = ?$

uitwerking
$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$
$= 800 + 2000 + 150 + 18 = 2968$ W

$$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{U} = \frac{2968}{230} \approx 13 \text{ A}$$



▲ **figuur 26**
Zo wordt een stopcontact aangesloten.

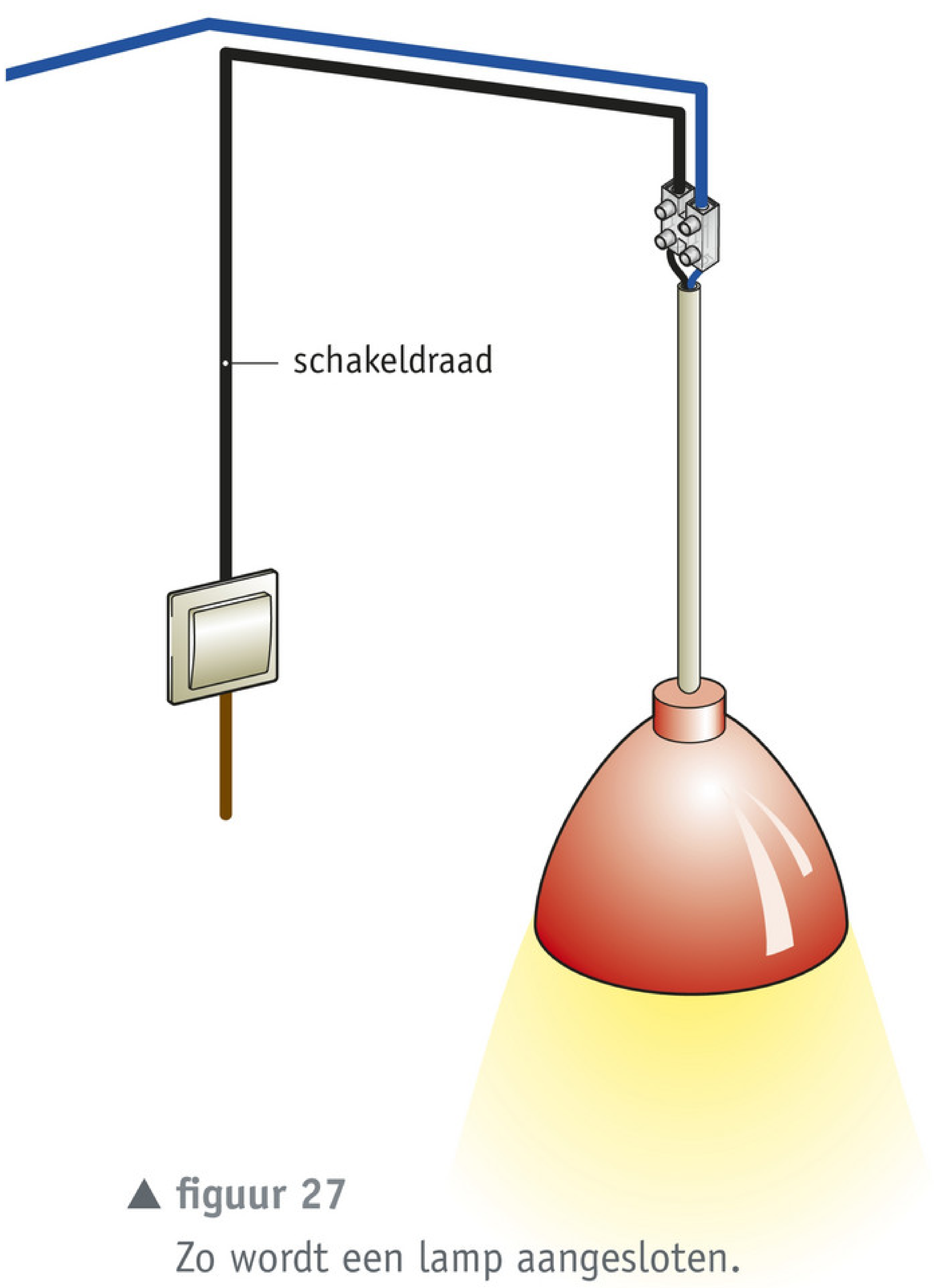
## Fasedraad en nuldraad

In elk stopcontact komen twee draden uit (figuur 26). Deze draden hebben een kern van koper met daaromheen een isolatielaag van pvc (een soort kunststof). Als alles juist is aangesloten, is de bruine draad de **fasedraad** en de blauwe draad de **nuldraad**.

Op de (bruine) fasedraad staat een wisselspanning van 230 V. Je moet het koper van deze draad niet aanraken. Als je dat wel doet, loopt er stroom door je lichaam en krijg je een schok. Op de (blauwe) nuldraad staat geen spanning. Deze draad maakt alleen de stroomkring af die terugloopt naar de elektriciteitscentrale.

Als je de nuldraad aanraakt, voel je als het goed is niets. Toch moet je met een blauwe draad ook oppassen: iemand kan de bruine en de blauwe draad per ongeluk hebben omgewisseld. Schakel daarom eerst de spanning uit, voordat je een draad vastpakt.

In figuur 27 is getekend hoe een hanglamp wordt aangesloten. Van een schakelaar naar een lamp loopt een zwarte draad: de **schakeldraad**. Op de schakeldraad staat alleen spanning als de schakelaar in de AAN-stand staat.



▲ **figuur 27**
Zo wordt een lamp aangesloten.

## Overbelasting

De totale stroomsterkte in één groep mag niet groter worden dan 16 A. Zolang de stroomsterkte onder die grens blijft, kunnen de leidingen de elektrische energie veilig vervoeren. Maar als de stroomsterkte stijgt tot (ver) boven 16 A, wordt het koperdraad in de leidingen heet en ontstaat er brandgevaar.

De stroomsterkte kan te groot worden, doordat er in een groep te veel apparaten tegelijk worden aangezet. Dat noem je **overbelasting**. Om te bepalen of er kans bestaat op overbelasting, kijk je naar het totale vermogen van de aangesloten apparaten. Zolang het totale vermogen niet hoger is dan 3,7 kW, kan er niets gebeuren. Ga maar na:

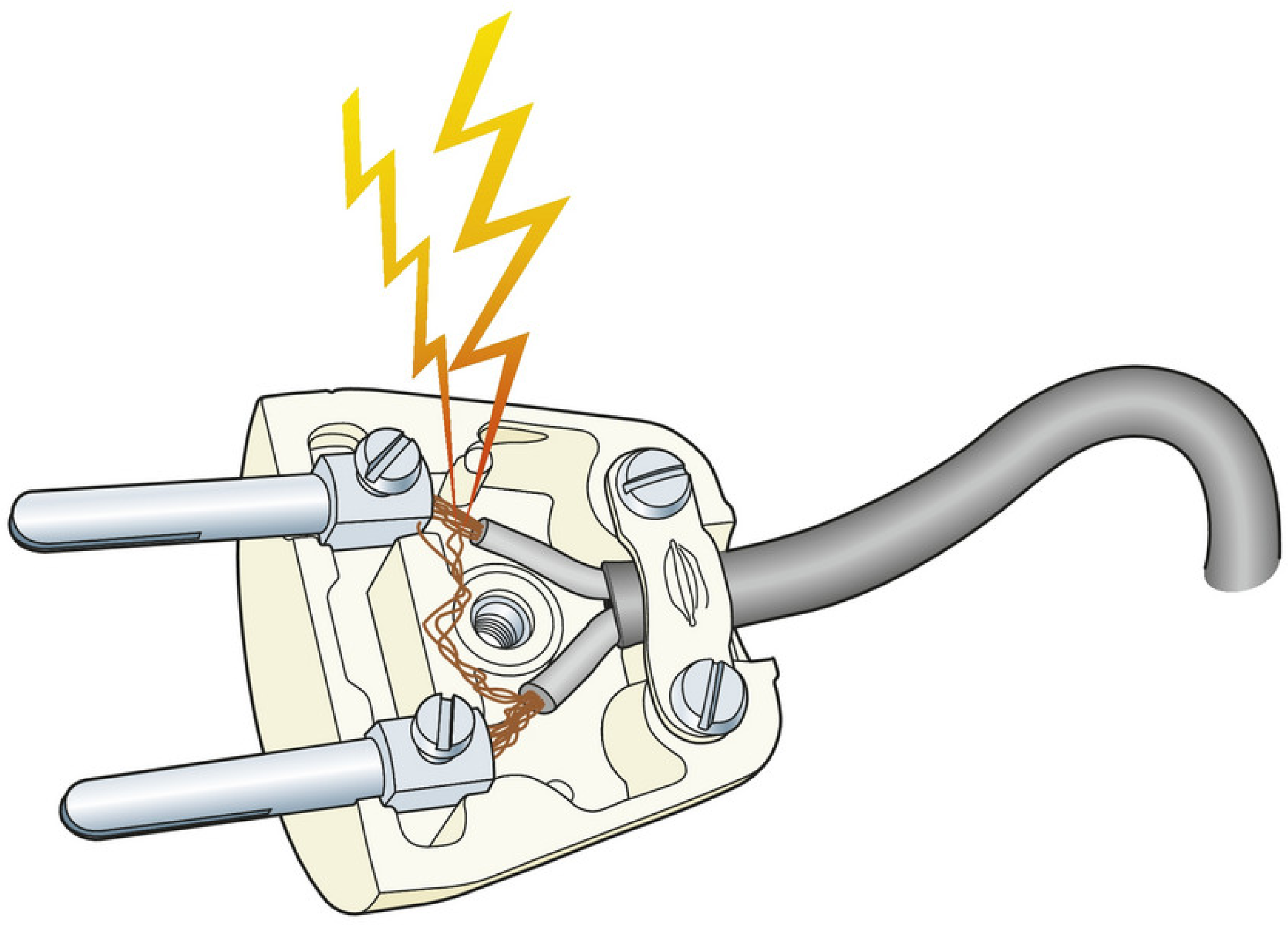
$$P_{max} = U \cdot I_{max} = 230 \times 16 = 3680 \text{ W} \approx 3{,}7 \text{ kW}$$

## Kortsluiting

Elektriciteitsdraden worden gemaakt van dik, goed geleidend koperdraad. De **weerstand** van deze draden is erg klein. Dat betekent dat de stroom er gemakkelijk doorheen gaat. Dat geldt ook voor het koperdraad in het snoer van een apparaat. De weerstand van het apparaat is veel groter. Daarmee vergeleken is de weerstand van de aansluitdraden te verwaarlozen.

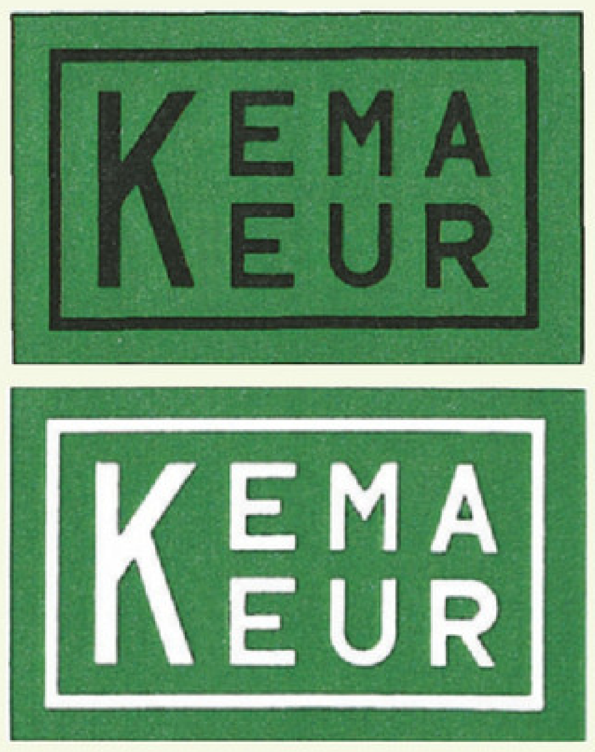
In de praktijk bepaalt de weerstand van het apparaat dus hoe groot de stroomsterkte wordt. Bij een klein apparaat zoals een elektrische wekker, is de stroomsterkte circa 0,01 A (10 mA). Bij een groot apparaat zoals een elektrische wasdroger, kan de stroomsterkte oplopen tot meer dan 10 A. Maar groter dan 16 A wordt de stroomsterkte nooit, zolang het apparaat goed werkt.

Dat verandert als de stroom een andere weg kan nemen, met een kleinere weerstand. In dat geval ontstaat er **kortsluiting**. In figuur 28 zie je een voorbeeld. In de stekker raken de koperdraden elkaar. Daardoor ontstaat er een stroomkring met een veel te kleine weerstand. Als je de stekker nu in het stopcontact steekt, wordt de stroomsterkte enorm groot, met alle gevolgen van dien.



▶ **figuur 28**
Als je deze stekker gebruikt, ontstaat er kortsluiting.

## Plus De KEMA

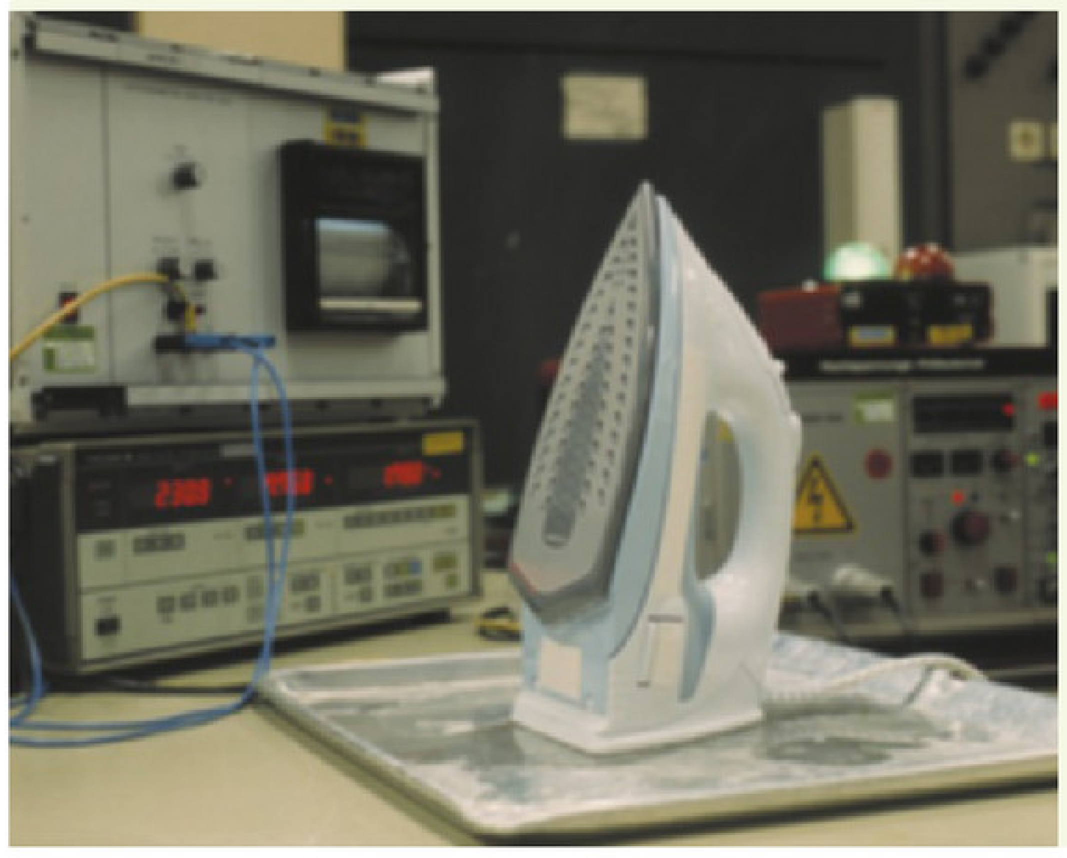



▶ **figuur 29**
goedgekeurd door de KEMA

De NV tot Keuring van Elektrotechnische Materialen (KEMA) is vooral bekend door het KEMA-keur. In figuur 29 zie je hoe het KEMA-keur eruitziet. Het geeft aan dat een elektrisch apparaat volgens de KEMA veilig kan worden gebruikt.

Een bedrijf mag het KEMA-keur niet zomaar op een apparaat zetten. Eerst moet het bedrijf een aantal proefexemplaren (laten) testen (figuur 30). Pas als gebleken is dat die voldoen aan alle veiligheidseisen, mag het KEMA-keur toegekend worden.

Om te kijken of de bedrijven zich goed aan de regels houden, voert de KEMA regelmatig steekproeven uit. Er worden dan een paar apparaten uit een willekeurige winkel gehaald en gekeurd, om te zien of ze even veilig zijn als de proefexemplaren. Als bij zo'n steekproef blijkt dat er iets niet klopt, wordt de fabrikant meteen gewaarschuwd.

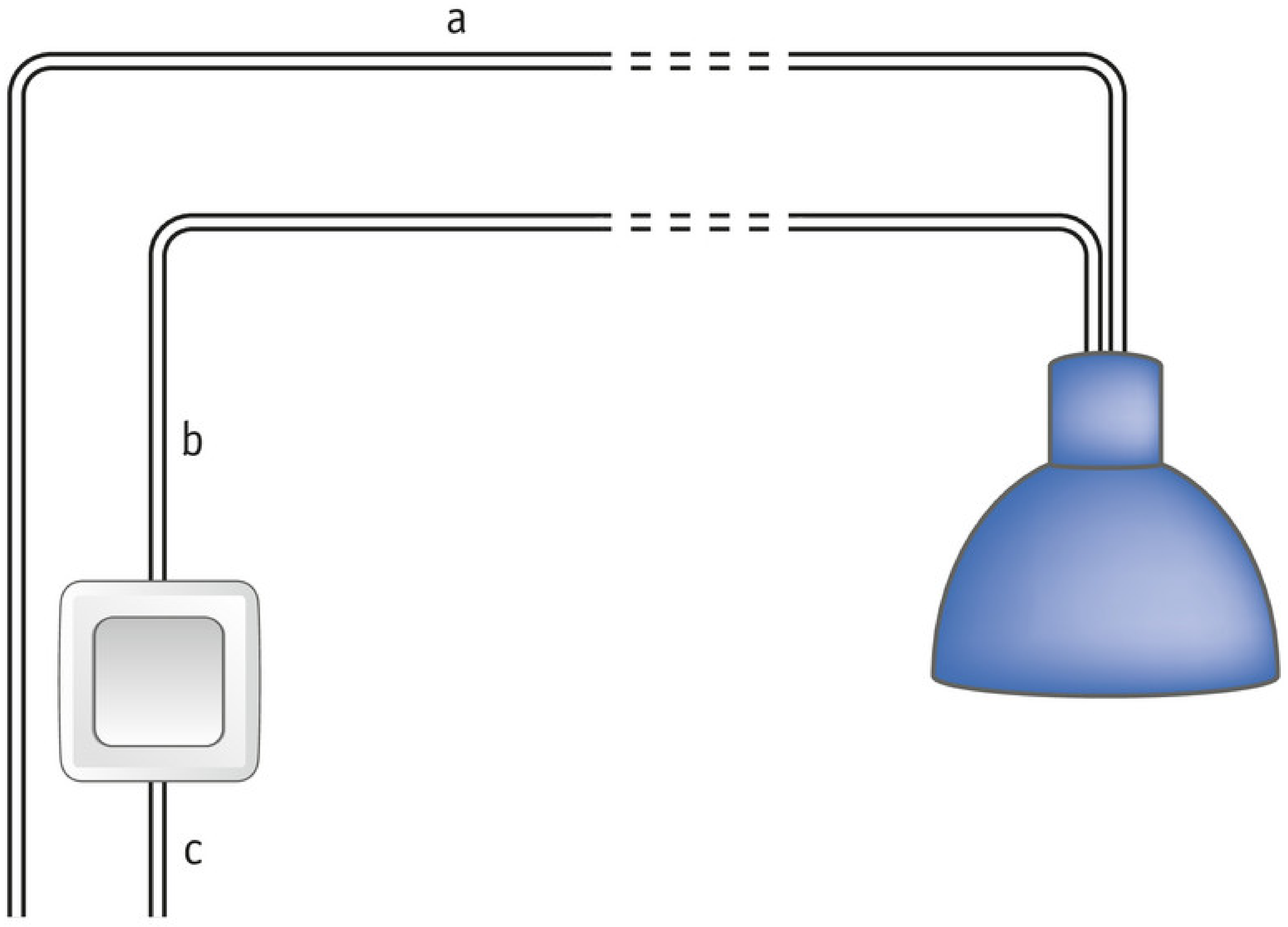


◀ **figuur 30**
Een strijkijzer wordt getest bij de KEMA.

## opgaven Leerstof

**23** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Met welke twee formules kun je de totale stroomsterkte in een groep berekenen?
- **b** Wat zijn de verschillen tussen een fasedraad, een nuldraad en een schakeldraad?
- **c** Hoe groot mag de (totale) stroomsterkte in een groep op zijn hoogst worden?
- **d** Door welke twee oorzaken kan de stroomsterkte in een groep te groot worden?
- **e** Wat is er aan de hand wanneer er in een apparaat kortsluiting ontstaat? Leg uit.

**24** In figuur 31 zie je hoe een lamp op het lichtnet is aangesloten. Welke letter staat er bij:
- **a** de fasedraad?
- **b** de nuldraad?
- **c** de schakeldraad?




▶ **figuur 31**
Hoe is deze hanglamp aangesloten?

### Toepassing

**25** Apparaten zoals wasmachines, vaatwasmachines en elektrische fornuizen krijgen vaak een 'eigen' groep. In oudere huizen wordt daar soms speciaal een nieuwe groep voor aangelegd.

**a** Leg uit waarom zo'n apparaat een 'eigen' groep krijgt. Wat gaat er anders fout?

**b** Waarom is zo'n aparte groep niet nodig voor een broodrooster of sapcentrifuge?

**26** Bij deze opgave heb je werkblad 2-1 nodig.
Op het werkblad is een groep van een huisinstallatie getekend. Behalve twee lampen die op de groep zijn aangesloten, zie je ook drie schakelaars a, b en c.

**a** Welke van de drie schakelaars is de groepsschakelaar? Leg uit waaraan je dat kunt zien.

**b** Wat is de functie van de andere twee schakelaars?

**c** Geef op het werkblad elke draad de juiste kleur: bruin, blauw of zwart.

**27** Een hanglamp wordt meestal aangesloten op een lichtpunt in het plafond. In een doe-het-zelfboek wordt uitgelegd hoe je daarbij te werk moet gaan (figuur 32).

**a** In de tekst wordt een zwarte draad genoemd.
Hoe noem je deze draad?

**b** Hoe noem je de andere aansluitdraad? Wat voor kleur heeft hij?

**c** Je kunt de zwarte draad 'spanningsloos' maken door de lichtschakelaar op UIT te zetten.
Leg uit waarom dat niet zo'n veilige manier is.

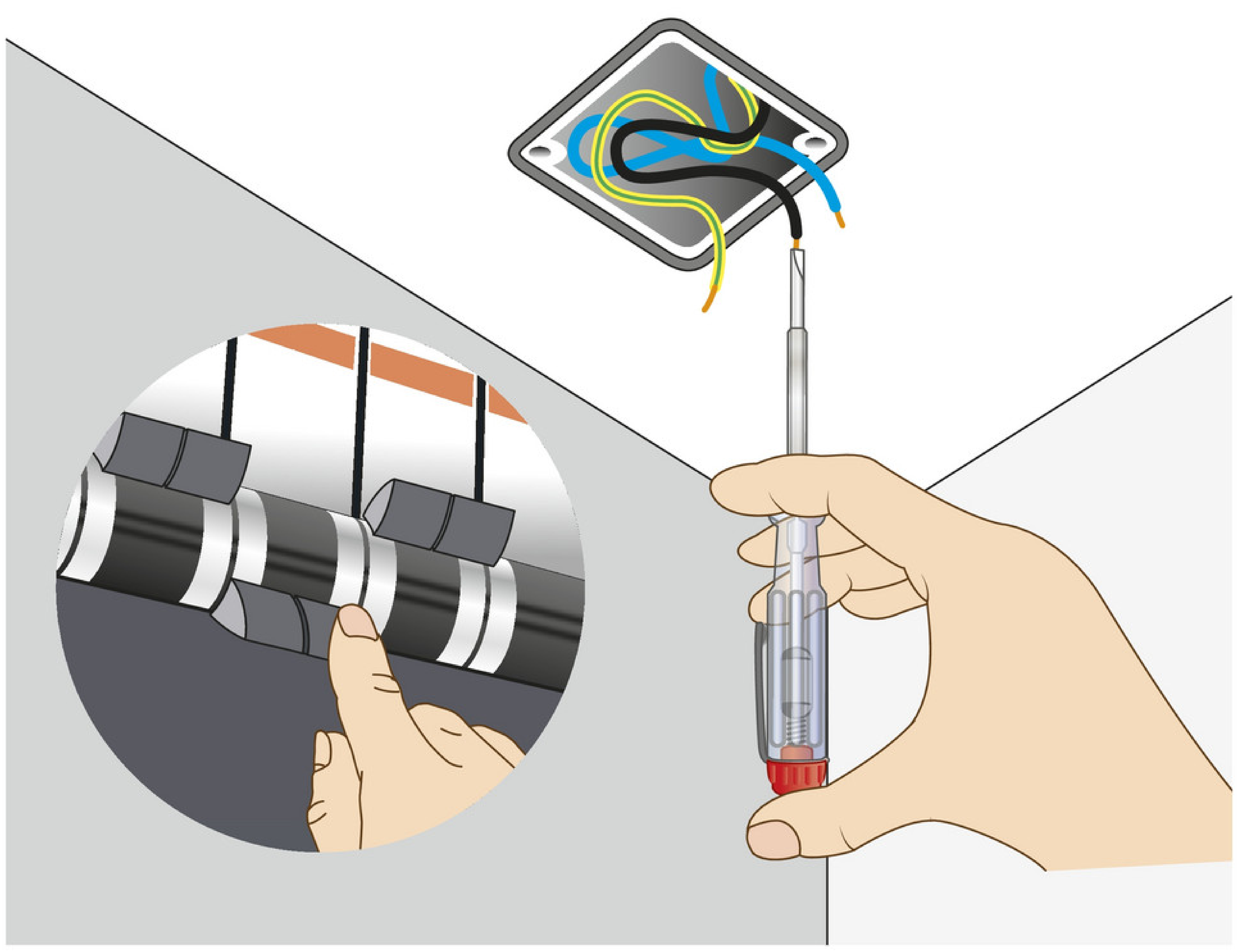
**d** Wat is een veiligere manier om een lichtpunt of stopcontact 'spanningsloos' te maken?

**e** Waarom is het verstandig om de meterkast daarna op slot te doen en de sleutel mee te nemen?

▼ **figuur 32**
een stukje uit een doe-het-zelfboek

## Veiligheid voor alles

- **Voor u begint met het aansluiten van het snoer, zorgt u ervoor dat op de installatiedraden uit het plafond geen spanning staat. Dat kunt u controleren met een goed werkende spanningszoeker.**
- **Wanneer op de zwarte draad uit het plafond nog spanning staat, kunt u de draden spanningsloos maken door de bijbehorende lichtschakelaar om te zetten. Het is altijd veiliger om de desbetreffende groep in de meterkast uit te schakelen, de deur van de meterkast op slot te doen en de sleutel bij u te steken zolang u aan het werk bent.**



**28** Op één groep van een huisinstallatie zijn de volgende apparaten aangesloten:
- een frituurpan van 1600 W
- één lamp van 12 W en één van 15 W
- een afzuigkap van 250 W
- een televisietoestel van 400 W

**a** Bereken hoe groot de totale stroomsterkte wordt als alle apparaten tegelijk aanstaan.
**b** Wordt de groep overbelast als alle apparaten tegelijk aanstaan? Leg uit.

**VERLENGSNOER 230 VOLT**
- lengte 40 meter
- maximaal vermogen 1100 watt opgerold
- maximaal vermogen 3500 watt afgerold



▲ **figuur 33**
een advertentie van een kabelhaspel

***29** In een heteluchtoven zit een verwarmingselement dat de lucht verhit (1450 W), een ventilator voor het verspreiden van de hete lucht (80 W) en een grill (1300 W).
Is het nodig dat deze heteluchtoven een eigen groep krijgt, alleen voor dit ene apparaat? Laat dat met een berekening zien.

***30** In een folder staat een advertentie voor een kabelhaspel (figuur 33). Daarin wordt ervoor gewaarschuwd dat de kabel maar een beperkt vermogen kan vervoeren.
**a** Bereken hoe groot de maximale stroomsterkte is:
- als de kabel helemaal is afgerold.
- als de kabel nog op de haspel zit.

**b** Anne gebruikt de kabelhaspel om een straalkachel van 2,8 kW aan te sluiten op het lichtnet.
Leg uit wat er fout kan gaan, als hij de kabel niet eerst helemaal afrolt.
**c** Waaruit kun je afleiden dat het koperdraad van de kabel ongeveer even dik is als het koperdraad in de huisinstallatie?

**31** Bij deze opgave heb je werkblad 2-2 nodig.
Myrthe gebruikt een spanningszoeker om na te gaan of er spanning op een stopcontact staat. Op het werkblad zie je hoe ze de linker opening van het stopcontact test. Het neonlampje begint dan te branden.
**a** Maakt de spanningszoeker contact met de fasedraad of met de nuldraad? Leg uit.
**b** Gaat het neonlampje ook branden als ze de spanningszoeker daarna in de rechter opening steekt? Hoe komt dat?
**c** De spanningszoeker is gedeeltelijk van een isolerend materiaal gemaakt.
Kleur de delen die de stroom niet geleiden, blauw.
**d** Leg uit waarom het niet gevaarlijk is om een spanningszoeker in een opening van het stopcontact te steken. Gebruik in je uitleg het woord ‘weerstand’.

## Plus De KEMA

**32** Op veel elektrische apparaten staat het KEMA-keur.
- **a** Wat kun je als consument uit het KEMA-keur opmaken?
- **b** Waarom neemt de KEMA regelmatig steekproeven?
- **c** Wat wordt precies bedoeld met een ‘steekproef’?

**33** Lees het krantenbericht in figuur 34.
- **a** Wat is er mis met sommige waterkokers die in Nederland verkocht worden?
- **b** Zijn waterkokers waar ‘CE’ op staat, altijd veilig? Leg uit.
- **c** Een KEMA-keur geeft “extra zekerheid”, volgens Harry van Doornum. Waarom vindt hij dat?
- **d** Waar zou de KEMA bij de keuring van een waterkoker allemaal op letten? Bedenk minstens drie dingen en schrijf ze op.

### KEMA-keur geeft extra zekerheid

**Delft – Veel elektrische waterkokers deugen niet. Dat blijkt uit een onderzoek van de Keuringsdienst van Waren.** De dienst onderzocht 42 typen waterkokers van 34 verschillende merken. Tien toestellen vertoonden tekortkomingen op het gebied van veiligheid, zoals onvoldoende bescherming tegen morsen. Gebruikers kunnen daardoor ernstige brandwonden oplopen.
Waterkokers moeten voorzien zijn van een CE-markering. Zonder die markering mogen ze niet in Europa worden verkocht. “Keuring is echter niet verplicht”, aldus deskundige Harry van Doornum van het NEN. “De producent mag deze markering zelf aanbrengen als de koker volgens de Europese norm is geproduceerd. Apparaten met een KEMA-keur zijn wel gekeurd. Dat geeft de consument extra zekerheid dat het apparaat veilig is.”



▲ **figuur 34**
Pas op voor onveilige waterkokers!

# 4 Elektriciteit en veiligheid

**In het ontwerp van een huisinstallatie staat de veiligheid voorop. De leidingen zijn goed beschermd tegen beschadigingen en degelijk geïsoleerd. Ook zijn er speciale veiligheidsvoorzieningen, zoals zekeringen en randaarde. Daardoor is de kans op ongelukken met elektriciteit erg klein, als je zelf ook 'gewoon' voorzichtig bent.**




▲ **figuur 35**
Als je schrikdraad aanraakt, trekken je spieren gedurende korte tijd sterk samen.

## Gevaren van elektriciteit

Het gebruik van elektrische energie brengt twee gevaren met zich mee.

– Als leidingen te veel stroom moeten verwerken, kunnen ze zo heet worden dat er brand ontstaat. Dit gevaar kan ontstaan door overbelasting of door kortsluiting.
– Als je een geleidend voorwerp aanraakt waar een spanning op staat, krijg je een schok. Dat merk je als je het schrikdraad rond een weiland aanraakt. Er loopt dan een korte stroomstoot door je lichaam en dat is geen prettig gevoel (figuur 35).

Als de stroom door je lichaam niet erg groot is (of kort duurt, zoals bij schrikdraad), blijf je zelf de baas over je spieren. Je kunt het voorwerp dat onder spanning staat, meteen weer loslaten. Maar als de stroom groter is en niet meteen stopt, kunnen je spieren zich niet ontspannen. Je kunt het voorwerp dat onder spanning staat, dan niet meer loslaten. In tabel 3 zie je wat de gevolgen kunnen zijn.

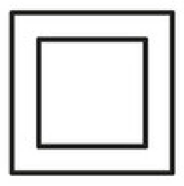
▼ **tabel 3** het effect van stroom op je lichaam

| stroomsterkte | verschijnsel |
|---|---|
| 1 mA | net te voelen |
| 10 mA | prikkelende ervaring |
| 15 mA | spiersamentrekking |
| 15-100 mA | pijn, bewusteloosheid, moeite met ademhalen |
| 100-500 mA | hartproblemen |
| meer dan 1 A | levensgevaar, brandwonden |

Hoe groot de stroomsterkte wordt, hangt af van de spanning en van de weerstand van je lichaam. Je lichaam zelf geleidt de stroom vrij goed; je **lichaamsweerstand** is dus niet al te groot. De stroom ondervindt de grootste weerstand op de plaatsen, waar hij het lichaam in- en uitgaat. Dit noem je de **contactweerstand**. Als je huid droog is, is de contactweerstand behoorlijk groot. Maar als je huid nat wordt, neemt de contactweerstand sterk af.

## Enkele en dubbele isolatie

De draden in de huisinstallatie hebben een kern van koperdraad. De dikte van dit draad is zo gekozen dat stromen tot 16 A gemakkelijk doorgelaten worden, zonder noemenswaardige warmteontwikkeling. Een isolatielaag van gekleurd pvc zorgt ervoor dat je geen schok krijgt, als je een draad vastpakt. De isolatie is ook nodig om kortsluiting te voorkomen.

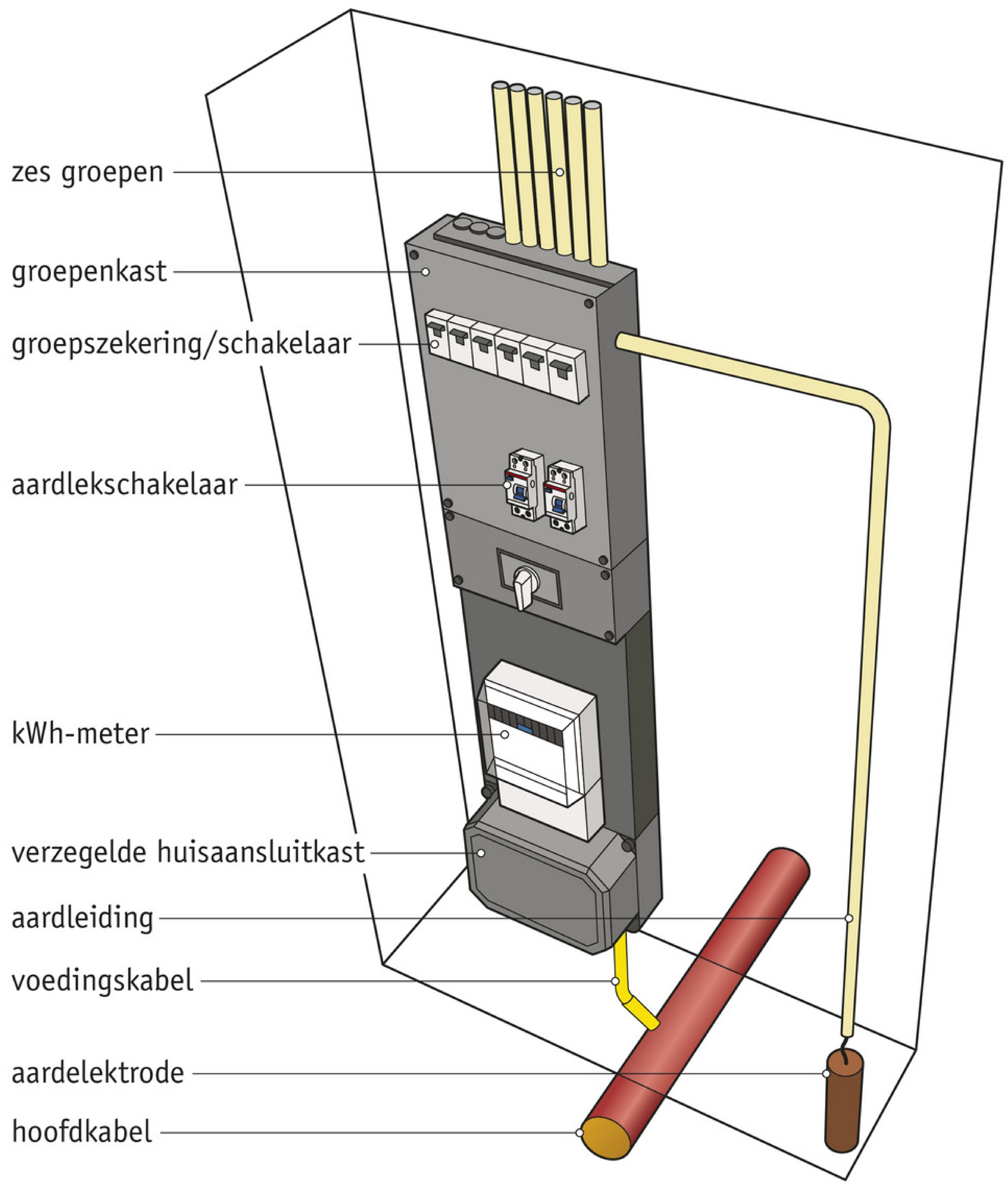


▲ figuur 36
het symbool voor dubbele isolatie

Sommige elektrische apparaten worden dubbel geïsoleerd. De onderdelen waar de stroom doorheen loopt, zijn dan normaal geïsoleerd. Daarnaast is er nog een tweede isolatielaag. Meestal is de buitenkant van het apparaat dan van een niet-geleidende kunststof gemaakt. Een apparaat met **dubbele isolatie** kun je herkennen aan het symbool in figuur 36.

## Zekeringen Proef 4

In de meterkast vind je verschillende veiligheidsvoorzieningen (figuur 37). Om te beginnen is er voor elke groep een eigen **groepszekering**. Als de stroomsterkte in een groep groter wordt dan 16 A, schakelt de groepszekering de stroom uit. De leidingen kunnen dan niet zo warm worden dat er brandgevaar ontstaat.




▶ figuur 37
Dit vind je allemaal in de meterkast.




In een moderne huisinstallatie worden elektronische zekeringen gebruikt, die **installatieautomaten** worden genoemd. Zo'n installatieautomaat heeft een hefboompje dat 'omklapt' als de stroom wordt uitgeschakeld (figuur 38). Zo zie je meteen in welke groep de storing zit. Als de storing is opgelost, kun je de stroom weer inschakelen door het hefboompje over te halen.

◀ figuur 38
een rij installatieautomaten

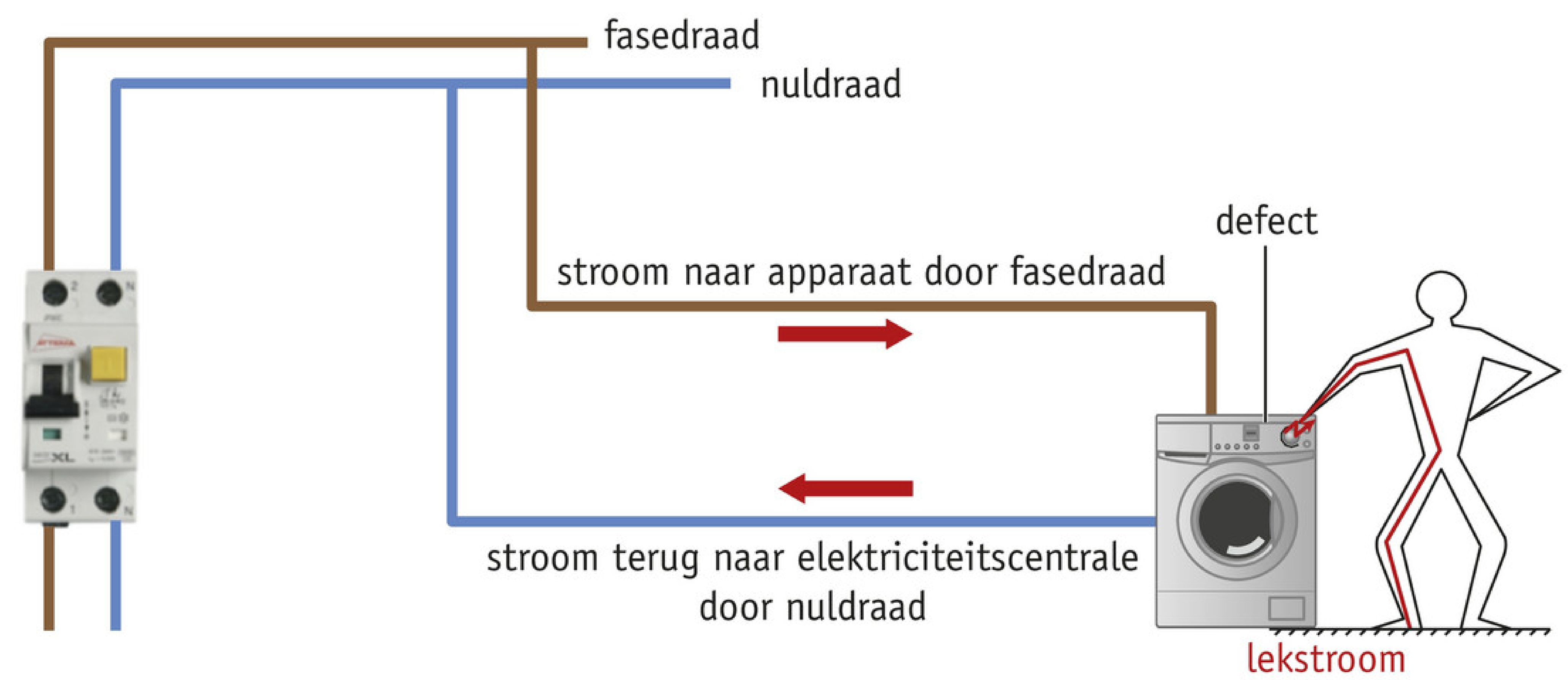
## Aardlekschakelaar




▲ **figuur 39**
Met de testknop kun je controleren of de aardlekschakelaar goed werkt.

In de meterkast vind je behalve zekeringen ook een of meer **aardlekschakelaars** (figuur 39). Een aardlekschakelaar vergelijkt de stroomsterkte in de fasedraad (bruine kleur) met de stroomsterkte in de nuldraad (blauwe kleur). Zolang de twee stroomsterktes even groot zijn – zoals normaal gesproken – laat de aardlekschakelaar de stroom gewoon door.

In figuur 40 is een situatie getekend waarin de beide stroomsterktes verschillend zijn. De metalen buitenkant van het apparaat staat onder spanning door een defect in de isolatie. Daardoor 'lekt' er stroom weg als iemand het apparaat aanraakt. De stroomsterkte in de nuldraad is nu kleiner dan die in de fasedraad.

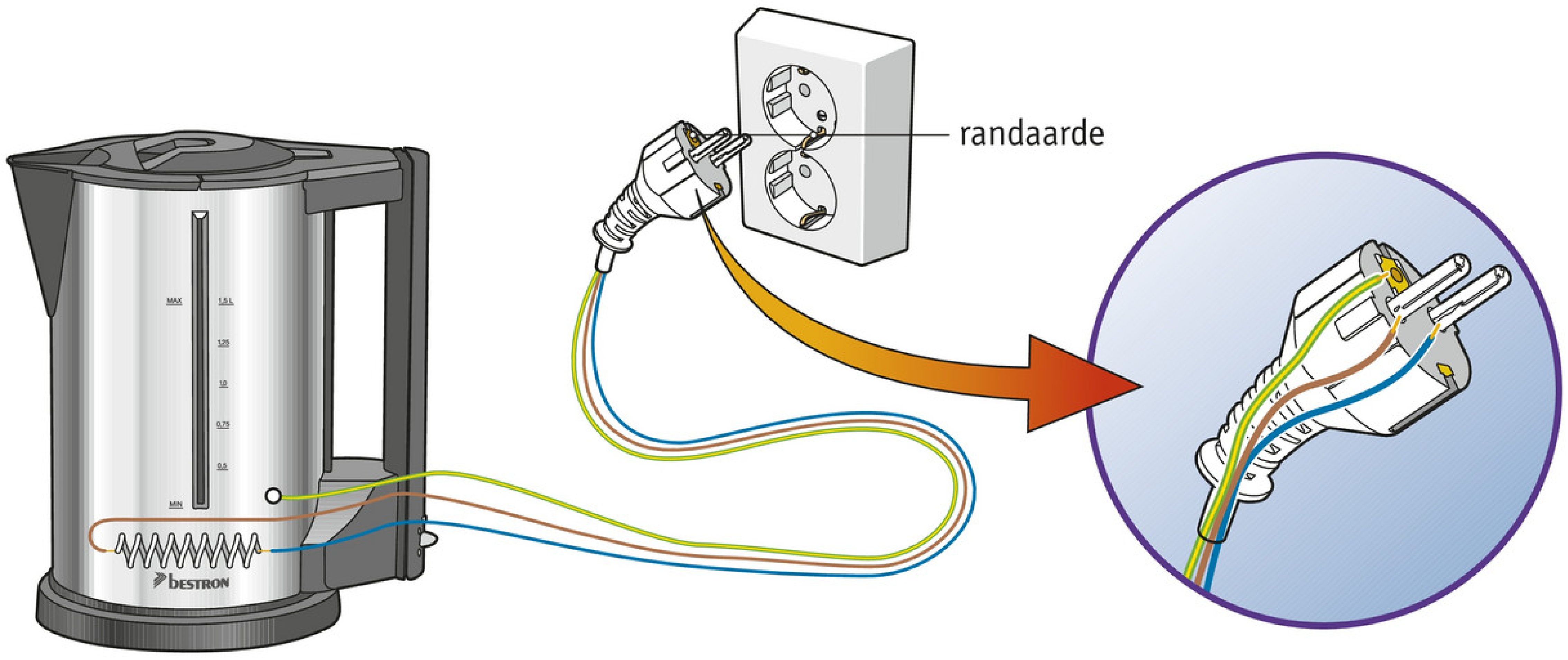



▶ **figuur 40**
Bij een lekstroom schakelt de aardlekschakelaar de spanning uit.

Als het verschil in stroomsterkte groter wordt dan 30 mA, schakelt de aardlekschakelaar de stroom uit. Er kan dan geen stroom meer weglekken via je lichaam (of via een andere weg). Als je het apparaat aanraakt, krijg je dus wel een schok, maar daar blijft het bij: bijna op hetzelfde moment valt de stroom uit.

## Randaarde

Eigenlijk wil je niet dat de 'lekstroom' via iemands lichaam loopt. Dat is de reden waarom apparaten vaak geaard worden. Er loopt dan een groengele **aarddraad** van de buitenkant van het apparaat via het snoer naar de rand van het stopcontact (figuur 41). Vanaf het stopcontact loopt de aarddraad verder naar de **aardrail** in de meterkast. Die is op zijn beurt weer verbonden met een metalen pin die diep in de bodem is geslagen.

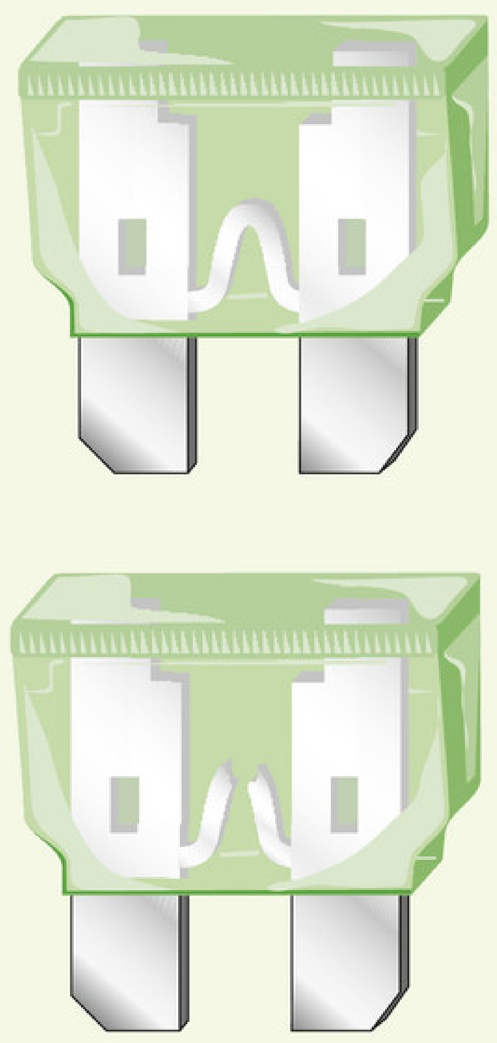



▶ **figuur 41**
Zo wordt een waterkoker geaard.

Als de metalen buitenkant van het apparaat onder spanning komt te staan, loopt er via de aarddraad een flinke lekstroom naar de aarde. Dat zorgt ervoor dat de aardlekschakelaar meteen de stroom uitschakelt. Je hoeft niet te wachten tot er toevallig een lekstroom ontstaat, bijvoorbeeld doordat iemand het apparaat aanraakt.

Toen er nog geen aardlekschakelaars waren, moest de lekstroom naar de aarde de groepszekering laten doorslaan. Dat ging lang niet altijd goed; soms bleef de lekstroom onder de 16 A en dan gebeurde er niets. Een aardlekschakelaar slaat al door bij een stroomsterkte van 30 mA. Dat zorgt voor extra veiligheid, die een zekering je niet kan geven.

## Plus Autozekeringen



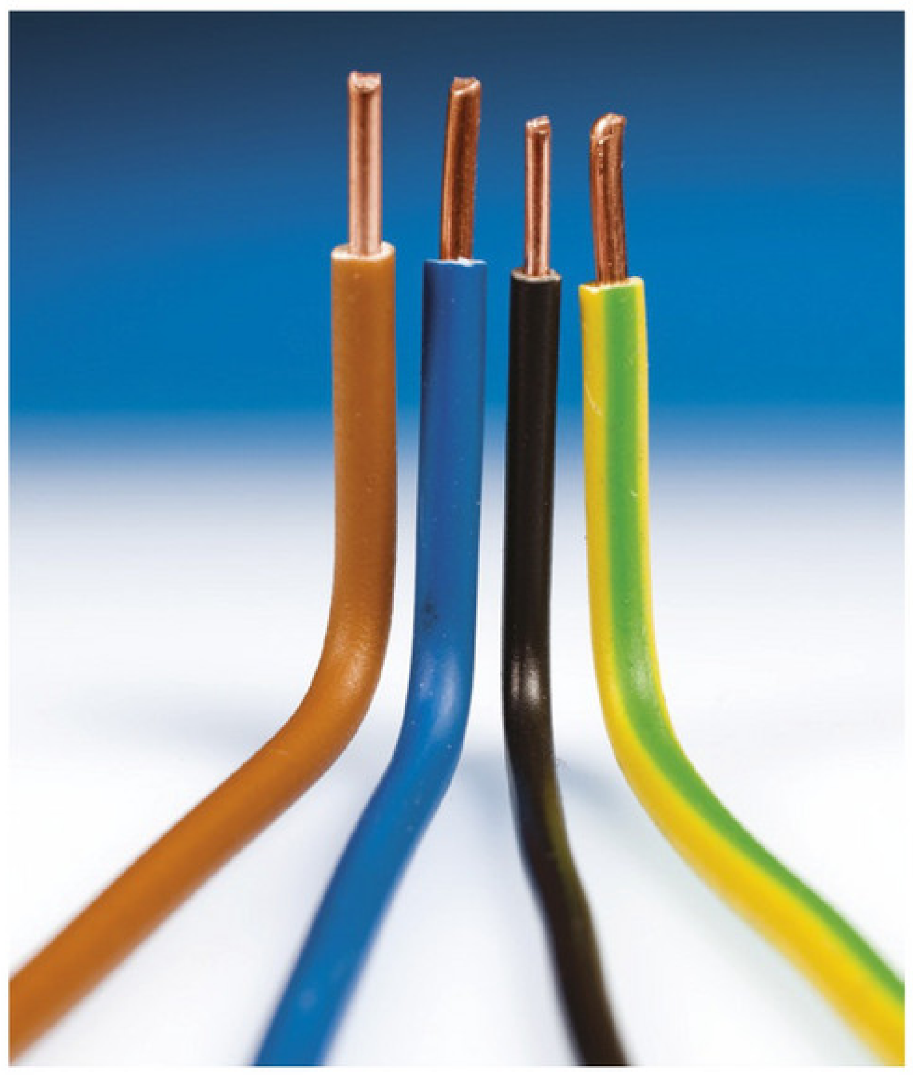
▲ **figuur 42**
een autozekering: klaar voor gebruik (boven) en doorgesmolten (onder)

In een auto zitten tientallen onderdelen die op elektriciteit werken: de startmotor, de brandstofpomp, de ruitenwissers, de koplampen, de achterruitverwarming, de claxon, enzovoort. Voor elk elektrisch onderdeel is een aparte stroomkring gemaakt, met een eigen zekering.

In de meeste auto's worden **steekzekeringen** gebruikt (figuur 42). Een steekzekering smelt door als de stroomsterkte door de stroomkring te groot wordt. Zo voorkom je dat de draden erg heet worden en de auto in brand vliegt.

Door onderdelen met een klein vermogen, zoals een dimlicht, loopt niet zo veel stroom. Zo'n onderdeel wordt beveiligd met een 'lichte' zekering, van bijvoorbeeld 10 A. De achterruitverwarming heeft een veel groter vermogen. Die wordt beveiligd met een 'zware' zekering, van bijvoorbeeld 25 A.

**opgaven** **Leerstof**



▲ **figuur 43**
de vier soorten draden in een huisinstallatie

**34** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe kun je aan een elektronische zekering zien dat hij de stroom in de groep heeft uitgeschakeld?
- **b** Waarop let een aardlekschakelaar om te bepalen of hij de stroom wel of niet moet uitschakelen?
- **c** Hoe kan de metalen buitenkant van een elektrisch apparaat onder spanning komen te staan?
- **d** In welke situatie geeft een aardlekschakelaar je meer veiligheid dan een zekering kan doen?

**35** In elke huisinstallatie kom je vier soorten draden tegen (figuur 43).
- **a** Noteer de kleur(en) van elk soort draad en zet de naam erbij.
- **b** Welk soort draad is bedoeld om een 'lekstroom' af te voeren?
- **c** Leg uit langs welke route de lekstroom dan wordt afgevoerd.

## Toepassing

**36** Als je een draad beetpakt waar een spanning van 230 V op staat, krijg je een stevige schok. Van schrik kunnen je handen dan nat van het zweet worden.

**a** Hoe verandert de contactweerstand van je lichaam door het zweet?
**b** Wat gebeurt er daardoor met de stroomsterkte door het lichaam?
**c** Het wordt dan moeilijker om de draad weer los te laten.
Hoe komt dat?

**37** In de keuken van Peters flat staan drie elektrische apparaten aan: de wasmachine, de elektrische oven en de koelkast. Op het moment dat Peter ook nog zijn waterkoker aanzet, valt opeens de elektriciteit uit.

**a** Noteer twee mogelijke oorzaken voor het uitvallen van de elektriciteit.
**b** De televisie in Peters huiskamer staat nog wel aan.
Hoe kan het dat daar de elektriciteit niet uitgevallen is?
**c** Peter ziet in de meterkast dat het hefboompje van een van de zekeringen omlaag is geklapt. Als hij dit hefboompje omhoog duwt en loslaat, valt het net zo snel weer terug.
Wat had Peter eerst moeten doen?

**38** Amel is huiswerk aan het maken. Als het donker begint te worden, drukt ze op de schakelaar van haar bureaulamp. Tot haar ergernis gaat de lamp niet aan.

**a** Noteer wat er aan de hand zou kunnen zijn:
- met het ledlampje in haar bureaulamp.
- met de groepszekering in de meterkast.
- met het elektriciteitsnet in Amels wijk.

**b** Amel kijkt naar buiten. Overal in de straat branden er lampen in de huizen.
Welke mogelijke oorzaak kan ze dus uitsluiten?
**c** Amel zet de computer op haar bureau aan. Die begint meteen op te starten.
Welke oorzaak kan ze dus ook uitsluiten?
**d** Welke mogelijkheid is er nu nog over? Hoe kan Amel testen of dit echt de oorzaak is?

**39** Hieronder worden vijf situaties beschreven.

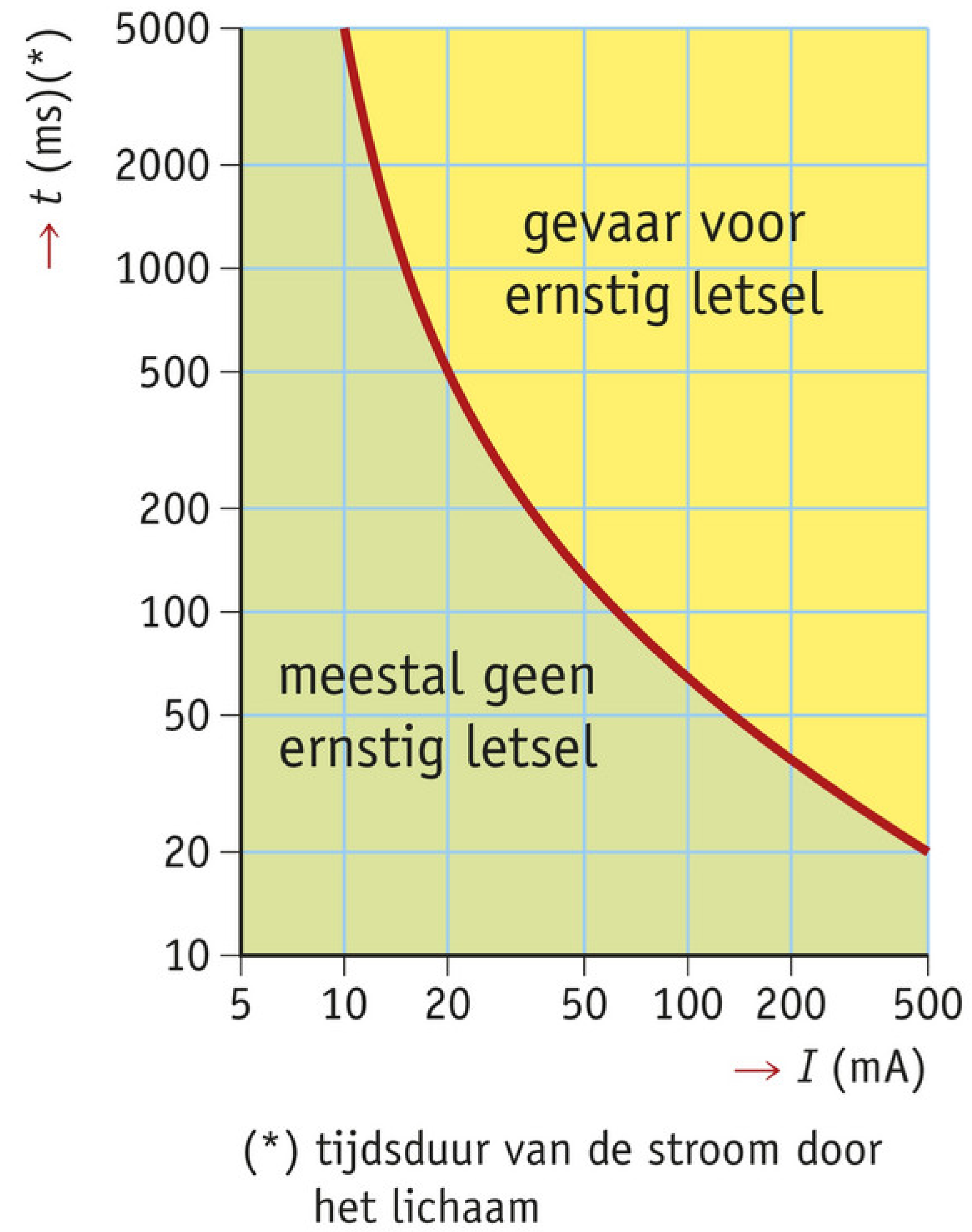
1. Bé probeert drie apparaten (samen 4,2 kW) op één groep te laten werken.
2. Elise krijgt onverwacht een schok als ze een kapotte waterkoker aanraakt.
3. Door loszittende bedrading is er kortsluiting ontstaan in Gemma’s televisie.
4. Ingrid raakt met haar hand de randaarde van een geaard stopcontact aan.
5. Jesse laat de (werkende) föhn in het bad vallen dat nog vol met water zit.

In welke situatie(s):

**a** zal de groepszekering de stroom uitschakelen?
**b** zal de aardlekschakelaar de stroom uitschakelen?
**c** gebeurt er niets, omdat er geen gevaar bestaat?

**40** Leg uit:
- **a** waarom het belangrijk is dat de metalen buitenkant van een wasmachine geaard wordt?
- **b** waarom het geen zin heeft om de buitenkant van een dubbel geïsoleerd apparaat te aarden?

**41** Als David zijn elektrische oven aanraakt, krijgt hij een schok. Op dat moment loopt er een stroom van 8,25 A door de fasedraad en een stroom van 8,21 A door de nuldraad.
- **a** Bepaal de grootte van de lekstroom in deze situatie.
- **b** Leg uit of de aardlekschakelaar de stroom zal uitschakelen.
- **c** Als de oven een dag later wordt gerepareerd, blijkt dat de aarddraad is losgegaan. Daardoor was de metalen buitenkant van het apparaat niet meer geaard.
  Leg uit dat David geen schok had gekregen, als de aarddraad goed vast had gezeten.




▲ **figuur 44**
de gevaargrens bij een elektrische schok

**42** Een elektrische schok kan ernstig letsel veroorzaken. Hoe groot het risico is, hangt af van de stroomsterkte en van de tijd dat de stroom door het lichaam loopt (figuur 44).
- **a** Binnen welke tijd moet een aardlekschakelaar de stroom uitschakelen om het risico beperkt te houden:
  - bij een stroomsterkte van 20 mA?
  - bij een stroomsterkte van 200 mA?
- **b** Op de website www.veiligheid.nl staat: "De aardlekschakelaar schakelt uit als de lekstroom groter is dan 30 milliampère en minimaal 20 milliseconden aanhoudt en maakt daarmee elektrocutie onmogelijk."
  Klopt deze bewering met de informatie in figuur 44? Leg uit.

***43** Gilles controleert of er spanning op een stopcontact staat. Het neonlampje in de spanningszoeker gaat branden, als hij met een vinger achter op de spanningszoeker drukt (figuur 45).
- **a** Is het een sterke stroom die dan door het neonlampje en zijn vinger naar de aarde loopt? Hoe weet je dat?
- **b** Het valt Gilles op dat het neonlampje feller gaat branden, als hij met zijn andere hand een waterkraan aanraakt.
  Hoe komt het dat de stroomsterkte dan toeneemt? Gebruik het woord 'weerstand' in je uitleg.
- **c** Zijn de waterleidingbuizen in Gilles' huis van koper of van plastic gemaakt? Licht je antwoord toe.



◀ **figuur 45**
een stopcontact testen met een spanningszoeker

## Plus Autozekeringen

**44** Een koplamp van een auto heeft een vermogen van 60 W en werkt op een spanning van 12 V.

**a** Bereken de stroomsterkte door de koplamp.

**b** De stroomkring met de koplamp wordt beveiligd door een zekering van 10 A.
Leg uit wat bedoeld wordt met ‘een zekering van 10 A’.

**c** De stroomsterkte waarbij de zekering doorsmelt, is groter dan de normale stroomsterkte door de lamp.
Leg uit waarom dat nodig is.

**45** In tabel 4 vind je gegevens over een aantal auto-onderdelen.

**a** Neem tabel 4 over. Bereken de stroomsterkte door elk onderdeel. Noteer de uitkomsten in de tabel.

**b** Noteer voor elk onderdeel een geschikte zekering. Je hebt de keuze uit vijf mogelijkheden:
- zekering 1: 5 A;
- zekering 2: 10 A;
- zekering 3: 15 A;
- zekering 4: 20 A;
- zekering 5: 30 A.

▼ **tabel 4** elektrische gegevens van auto-onderdelen

| onderdeel | gegevens | stroomsterkte (*) | zekering |
|---|---|---|---|
| claxon | 12 V, 80 W | | |
| voorruitwissers | 12 V, 150 W | | |
| grootlicht links | 12 V, 60 W | | |
| grootlicht rechts | 12 V, 60 W | | |
| achteruitrijlichten | 12 V, 30 W | | |
| mistlamp | 12 V, 200 W | | |
| achterruitverwarming | 12 V, 300 W | | |
| motorelektronica | 12 V, 45 W | | |
| benzinepomp | 12 V, 220 W | | |
| airconditioning | 12 V, 320 W | | |

(*) Onder gewone omstandigheden als alles goed functioneert.

# Practicum

## Proef 1 De transformator 30 min

### Inleiding

Het gebeurt vaak dat de spanning van een spanningsbron te hoog of juist te laag is. In zo'n geval gebruik je een transformator. Met een transformator kun je de spanning omhoog of omlaag transformeren, terwijl er bijna geen elektrische energie verloren gaat.

### Doel

Je gaat de eigenschappen van een transformator onderzoeken.

### Nodig

- voedingskastje
- weekijzeren juk
- weekijzeren sluitstuk
- spoel met 300 windingen
- spoel met 600 windingen
- spanningsmeter of multimeter
- staaf van koper of aluminium
- snoeren

### Uitvoeren en uitwerken

- Bouw de eenvoudige transformator die in figuur 46 getekend is.
- Voer de vier onderzoeken uit die hierna worden beschreven.
- Stel bij alle onderzoeken het voedingskastje in op 6 V (~ of =).

*Onderzoek 1*

- Onderzoek of het mogelijk is:
  - om gelijkspanning te transformeren;
  - om wisselspanning te transformeren.

*Onderzoek 2*

- Onderzoek hoe je een spanning van 6 V omhoog kunt transformeren. Welke spoel moet je dan als primaire spoel nemen en welke als secundaire? Hoe groot wordt de (secundaire) spanning?

*Onderzoek 3*

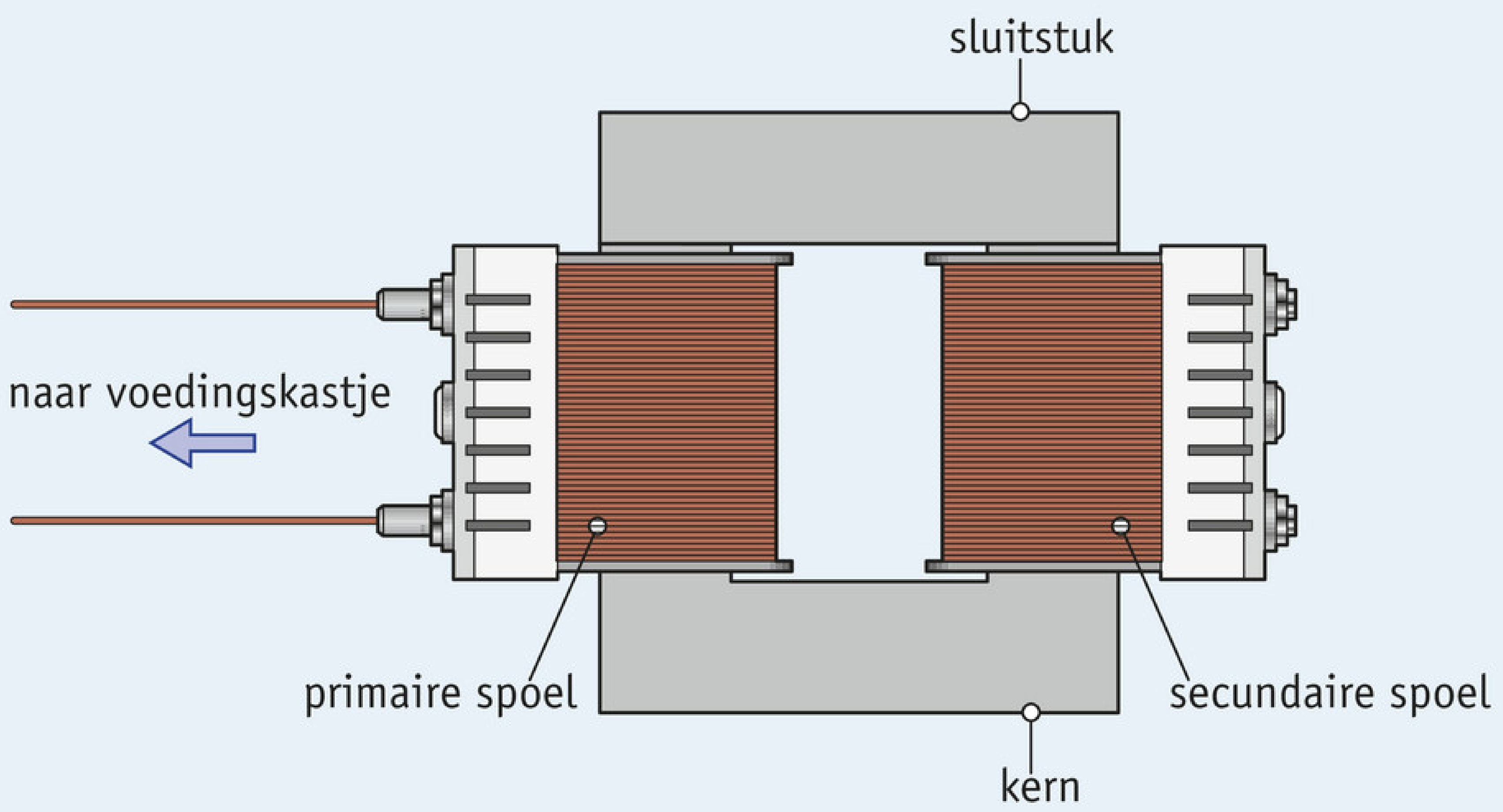
- Onderzoek hoe je een spanning van 6 V omlaag kunt transformeren. Welke spoel moet je dan als primaire spoel nemen en welke als secundaire? Hoe klein wordt de (secundaire) spanning?

*Onderzoek 4*

- Onderzoek wat er gebeurt als je het sluitstuk weghaalt. Verandert de (secundaire) spanning dan, en zo ja, hoe? Wat gebeurt er als je het sluitstuk vervangt door een koperen of aluminium staaf?

**1** Noteer na elk onderzoek je conclusies.

- Je docent zal je vertellen van welk onderzoek je een verslag moet maken.




▲ **figuur 46**
een eenvoudige transformator

## Proef 2 Meten met een kWh-meter 30 min

### Inleiding
Met een kWh-meter kun je het energieverbruik van een elektrisch apparaat meten. Normaal gesproken lees je het energieverbruik af op het telwerk, maar dat is lastig als het gaat om kleine hoeveelheden energie. Daarom leer je bij deze proef nog een andere meetmethode.

### Doel
Je gaat met een kWh-meter het vermogen van een apparaat bepalen.

### Nodig
- kWh-meter
- verschillende elektrische apparaten
- stopwatch

### Uitvoeren en uitwerken
*Meten*
In een kWh-meter zit een schijf die gaat draaien als er elektrische energie wordt verbruikt. Zo wordt het telwerk in de meter aangedreven. Op de kWh-meter staat een getal C. Als de schijf dit aantal omwentelingen heeft gemaakt, is er 1 kWh = 3600 kJ aan elektrische energie verbruikt.

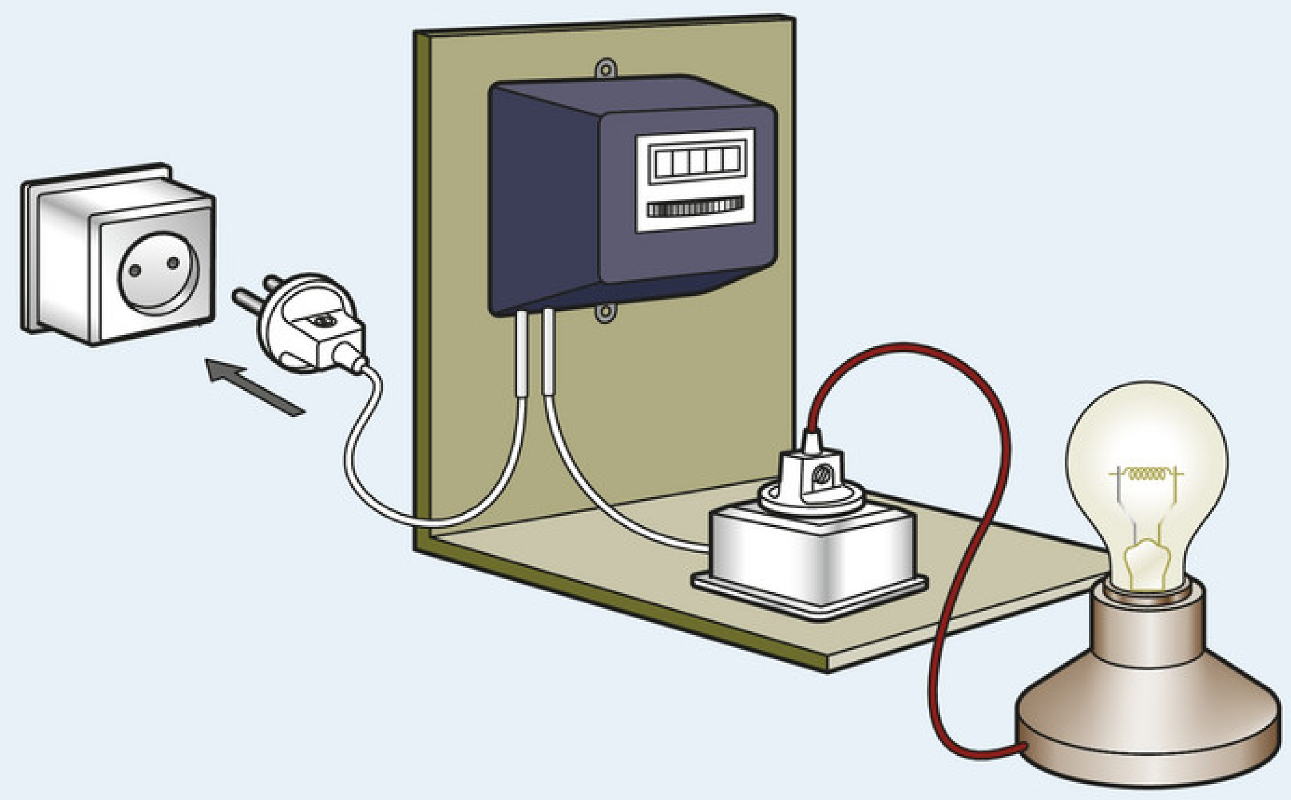
1 Noteer het getal C dat op de kWh-meter vermeld staat.

– Kies een elektrisch apparaat uit en bekijk het typeplaatje.

2 Noteer het vermogen dat op het typeplaatje vermeld staat.

– Sluit het apparaat aan op de kWh-meter (figuur 47). Zet het apparaat aan.
– Meet hoeveel tijd nodig is om de schijf van de kWh-meter tien keer te laten ronddraaien.

3 Noteer de tijd die je gemeten hebt.
4 Bepaal het vermogen van het apparaat met behulp van je meetgegevens. Vergelijk de uitkomst met de informatie op het typeplaatje en verklaar een eventueel verschil.



▲ **figuur 47**
de opstelling van proef 2

## Proef 3 Meten met een vermogensmeter 30 min

### Inleiding
Met een vermogensmeter kun je het vermogen en het energieverbruik van elektrische apparaten meten. Het apparaat wordt ook wel een energiemeter of een energiekostenmeter genoemd. Van je docent krijg je (een link naar) de gebruiksaanwijzing. Lees die goed voordat je aan het werk gaat.

### Doel
Je gaat het vermogen en het energieverbruik bepalen van diverse elektrische apparaten.

### Nodig
- vermogensmeter
- kWh-meter
- föhn
- stopwatch
- waterkoker
- elektrisch kacheltje

### Uitvoeren en uitwerken

**WAARSCHUWING**
Je werkt bij deze proef met een spanning van 230 V. Wees dus voorzichtig. Houd je aan de aanwijzingen van je docent.

– Je docent zal je vertellen welke meting(en) jij gaat uitvoeren.

*Meting 1: Het vermogen van een föhn*
– Steek de vermogensmeter in een stopcontact.
– Sluit het apparaat aan op de vermogensmeter.




◀ **figuur 48**
Zo meet je het opgenomen vermogen van een föhn.

- Bepaal het opgenomen vermogen bij verschillende standen van de föhn (figuur 48).

**1** Noteer je meetresultaten.
**2** Noteer het vermogen dat op het typeplaatje van de föhn vermeld staat.
**3** Vergelijk het vermogen op het typeplaatje (vraag 2) met de vermogens die je hebt gemeten (vraag 1).
Wat is je conclusie?

*Meting 2: Het energieverbruik van een waterkoker*
- Stel op de vermogensmeter het actuele elektriciteitstarief in.
- Doe een halve liter water in de waterkoker.
- Meet hoeveel elektrische energie nodig is om een halve liter water aan de kook te brengen.

**4** Noteer:
- hoelang het duurde om het water aan de kook te brengen;
- hoeveel elektrische energie de waterkoker heeft verbruikt;
- hoeveel je voor deze hoeveelheid energie moet betalen.

**5** Bereken het energieverbruik van de waterkoker met behulp van het vermogen op het typeplaatje en de tijdsduur die je bij vraag 4 hebt opgeschreven.
**6** Vergelijk het berekende energieverbruik (vraag 5) met het gemeten energieverbruik (vraag 4).
Wat is je conclusie?

*Meting 3: De vermogensmeter controleren*
In een kWh-meter zit een schijf die gaat draaien als er elektrische energie wordt verbruikt. Zo wordt het telwerk in de meter aangedreven. Op de kWh-meter staat een getal C. Als de schijf dit aantal omwentelingen heeft gemaakt, is er 1 kWh = 3600 kJ aan elektrische energie verbruikt.

**7** Noteer hoeveel omwentelingen je de schijf van de kWh-meter wilt laten maken.
**8** Bereken met hoeveel kWh dit aantal omwentelingen overeenkomt.

- Sluit de kWh-meter aan op de vermogensmeter.
- Sluit het kacheltje aan op de kWh-meter.
- Zet het kacheltje aan en wacht tot de kWh-meter het afgesproken aantal omwentelingen heeft gemaakt. Meet ondertussen het energieverbruik met de vermogensmeter.

**9** Hoe groot is het energieverbruik volgens de vermogensmeter?
**10** Vergelijk het energieverbruik volgens de kWh-meter (vraag 8) met het energieverbruik volgens de vermogensmeter (vraag 9).
Wat is je conclusie?

## Proef 4 Een zekering maken 30 min

### Inleiding
Een smeltveiligheid is een eenvoudig soort zekering. Het belangrijkste onderdeel is een kort stukje draad waar de stroom doorheen loopt. Als de stroomsterkte door de draad te groot wordt, smelt het draadje door. Op die manier wordt de stroom uitgeschakeld.

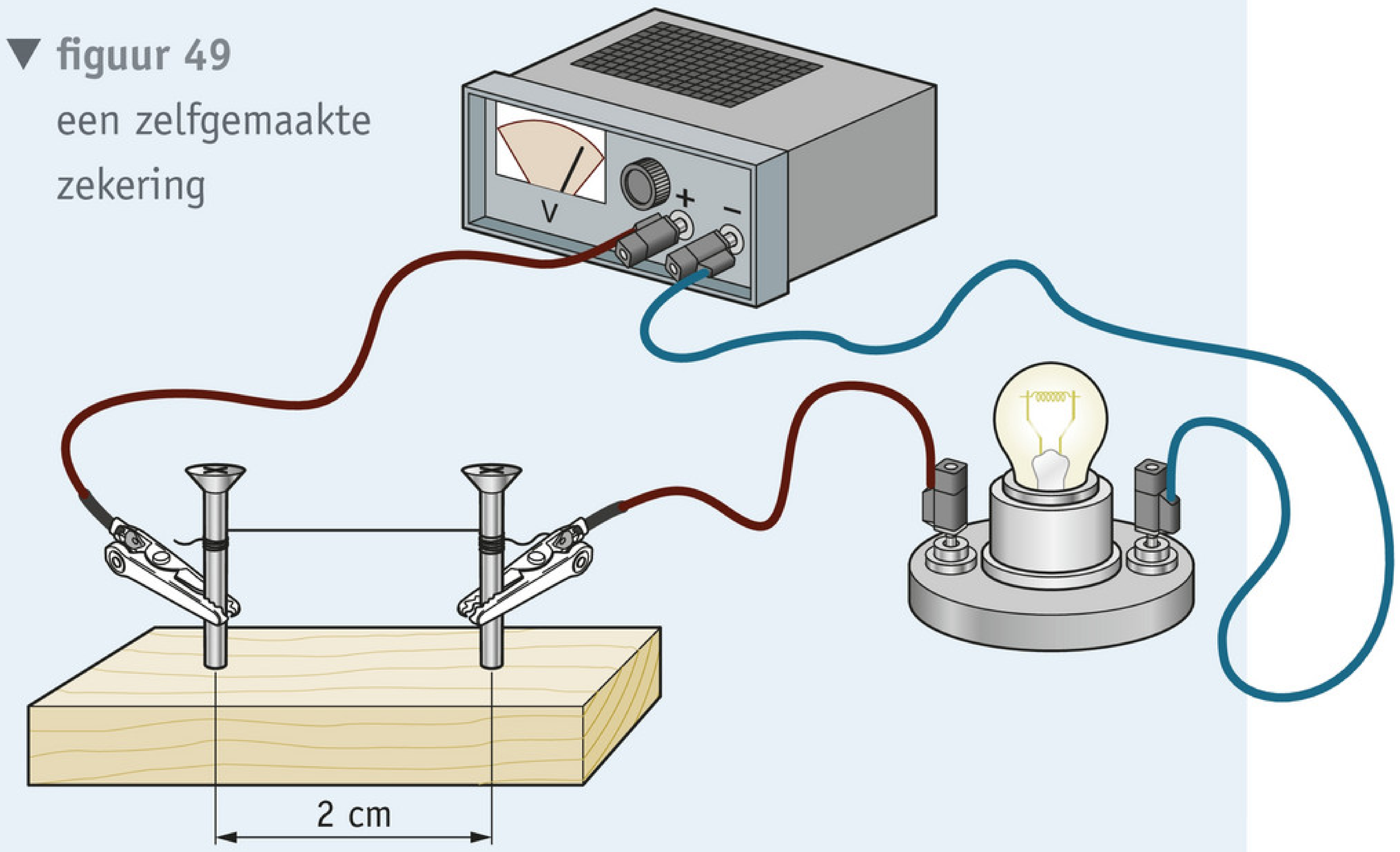
### Doel
Bij deze proef zie je hoe een schakeling wordt beschermd door een smeltveiligheid.

**Nodig**
- voedingskastje
- 2 krokodillenklemmen
- lampje
- 4 snoeren
- stukje hout
- 2 spijkertjes
- ijzerdraad

**Uitvoeren en uitwerken**
- Maak de zekering die in figuur 49 getekend is.
- Sluit het lampje en de zekering aan op het voedingskastje.
- Zet het voedingskastje aan. Stel de spanning in op 6 V.
- Je hebt nog één snoer over. Gebruik dit snoer om het lampje kort te sluiten. De stroom moet een andere weg kunnen nemen: niet door het lampje heen, maar door het (extra) snoer. Kijk ondertussen goed naar wat er gebeurt.

1 Beschrijf nauwkeurig wat je hebt waargenomen.
2 Teken het schema van de kortgesloten schakeling.
3 Bij kortsluiting kan de stroom een 'gemakkelijke' weg nemen met heel weinig weerstand. Wat was die 'gemakkelijke' weg bij deze proef?
4 Leg in eigen woorden uit hoe de smeltveiligheid de schakeling beveiligt.

▼ **figuur 49**
een zelfgemaakte zekering




## Proef 5 Een onderzoek uitvoeren: energie besparen 40 min

**Inleiding**
Stel je voor: op de verpakking van een spaarlamp staat een vergelijking met een gewone gloeilamp. Daaruit kun je opmaken dat een spaarlamp minstens vijf keer zo zuinig is als een gewone gloeilamp. Jij vraagt je af of die bewering wel klopt.
Hoe zou je dat na kunnen gaan?

**Doel**
Je gaat een antwoord zoeken op de onderzoeksvraag:
*Is een spaarlamp minstens 5× zo zuinig als een gloeilamp met dezelfde lichtopbrengst?*

**Nodig**
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

**Uitvoeren en uitwerken**
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat zoek je precies op en wat ga je meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

1 Zie vaardigheid 1 achter in het boek.
Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.



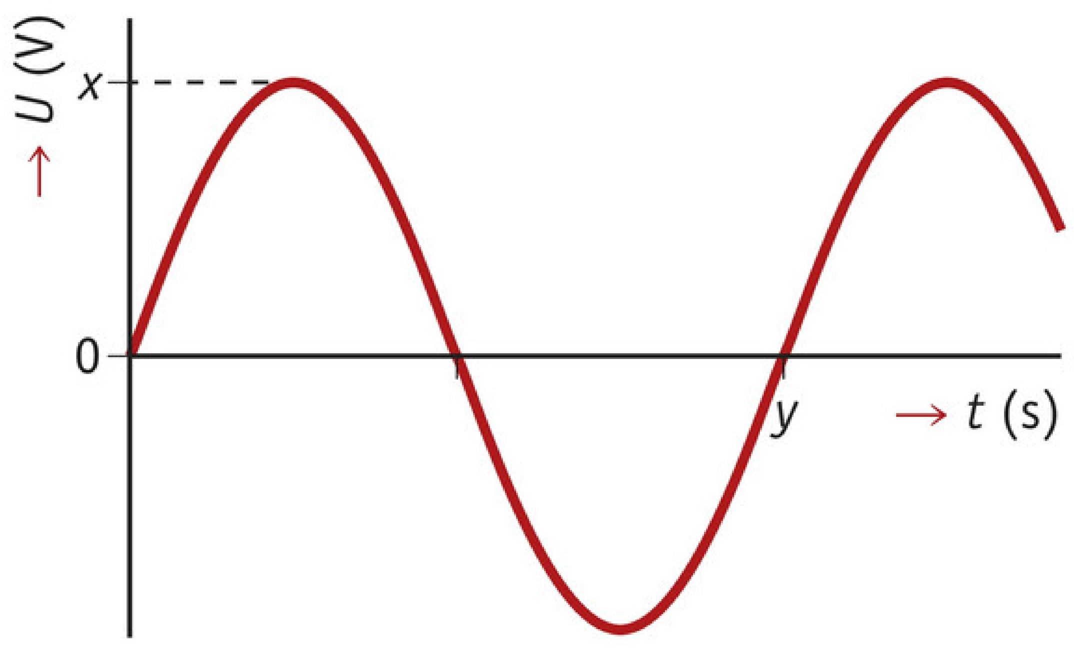

◀ **figuur 50**
Klopt de claim op de verpakking?

# Test Jezelf

**Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.**

**1** Neem over en vul in.
- **a** In de kabels van het elektriciteitsnet ontstaat energieverlies, doordat de elektrische energie deels wordt omgezet in … .
- **b** Om het energieverlies te beperken, kun je elektrische energie het best vervoeren bij een zo … mogelijke spanning.
- **c** Daarom wordt de spanning die de … in de centrale leveren, meteen … getransformeerd.

**2** Figuur 51 is een grafiek van de spanning van het lichtnet.
Welke waarde hebben de getallen $x$ en $y$ in de grafiek?
- A $x = 230$ $y = 0{,}01$
- B $x = 325$ $y = 0{,}01$
- C $x = 230$ $y = 0{,}02$
- D $x = 325$ $y = 0{,}02$




▲ **figuur 51**
de spanning van het lichtnet

**3** Albert doet een serie proeven met een transformator. De transformator heeft twee spoelen, A en B. Spoel A heeft 100 windingen, spoel B 400 windingen.
- **a** Bij zijn eerste proef sluit Albert spoel A aan op een wisselspanning van 4,5 V.
  Hoe groot is de spanning die spoel B dan afgeeft?
- **b** Bij de tweede proef doet Albert het andersom. Deze keer sluit hij spoel B aan op een wisselspanning van 4,5 V.
  Hoe groot is de spanning die spoel A dan afgeeft?

**4** Een halogeenlamp (12,0 V/0,40 A) is via een geschikte transformator op het lichtnet (230 V) aangesloten. De primaire spoel van de transformator heeft 690 windingen.
Bereken het aantal windingen van de secundaire spoel.

**5** Neem over en vul in.
- **a** 45 MJ = … kWh
- **b** 1800 kJ = … kWh
- **c** 4,5 kWh = … MJ
- **d** 0,2 kWh = … kJ

**6** Op een website staat de volgende informatie over een ventilatorkachel:

> De QH20 Plus met antikantelbeveiliging heeft twee warmtestanden: 1,0 kW en 2,0 kW.

Bereken de stroomsterkte door het apparaat als het in de hoogste stand staat.

**7** De ventilatorkachel van opgave 6 staat 6,0 min aan in de hoogste stand.
Bereken het energieverbruik van de kachel in J en in kWh.

**8** Ralf stofzuigt een uur en een kwartier het hele huis van boven tot onder. Het vermogen van de stofzuiger is 1200 W.
- **a** Bereken hoeveel elektrische energie de stofzuiger in die tijd heeft verbruikt.
- **b** Bereken hoeveel Ralf voor die elektrische energie moet betalen. 1 kWh kost € 0,22.

**9** Nicole wil weten of er spanning op een geaard stopcontact staat. Ze steekt een spanningszoeker in het stopcontact: eerst in de linkeropening en dan in de rechter. De eerste keer brandt het neonlampje in de spanningszoeker niet, de tweede keer wel.
- **a** Met welke draad maakte de spanningszoeker de eerste keer contact?
- **b** Met welke draad maakte de spanningszoeker de tweede keer contact?
- **c** Ten slotte houdt Nicole de spanningszoeker tegen de randaarde van het stopcontact.
  Brandt het neonlampje nu, als alles goed is aangesloten?

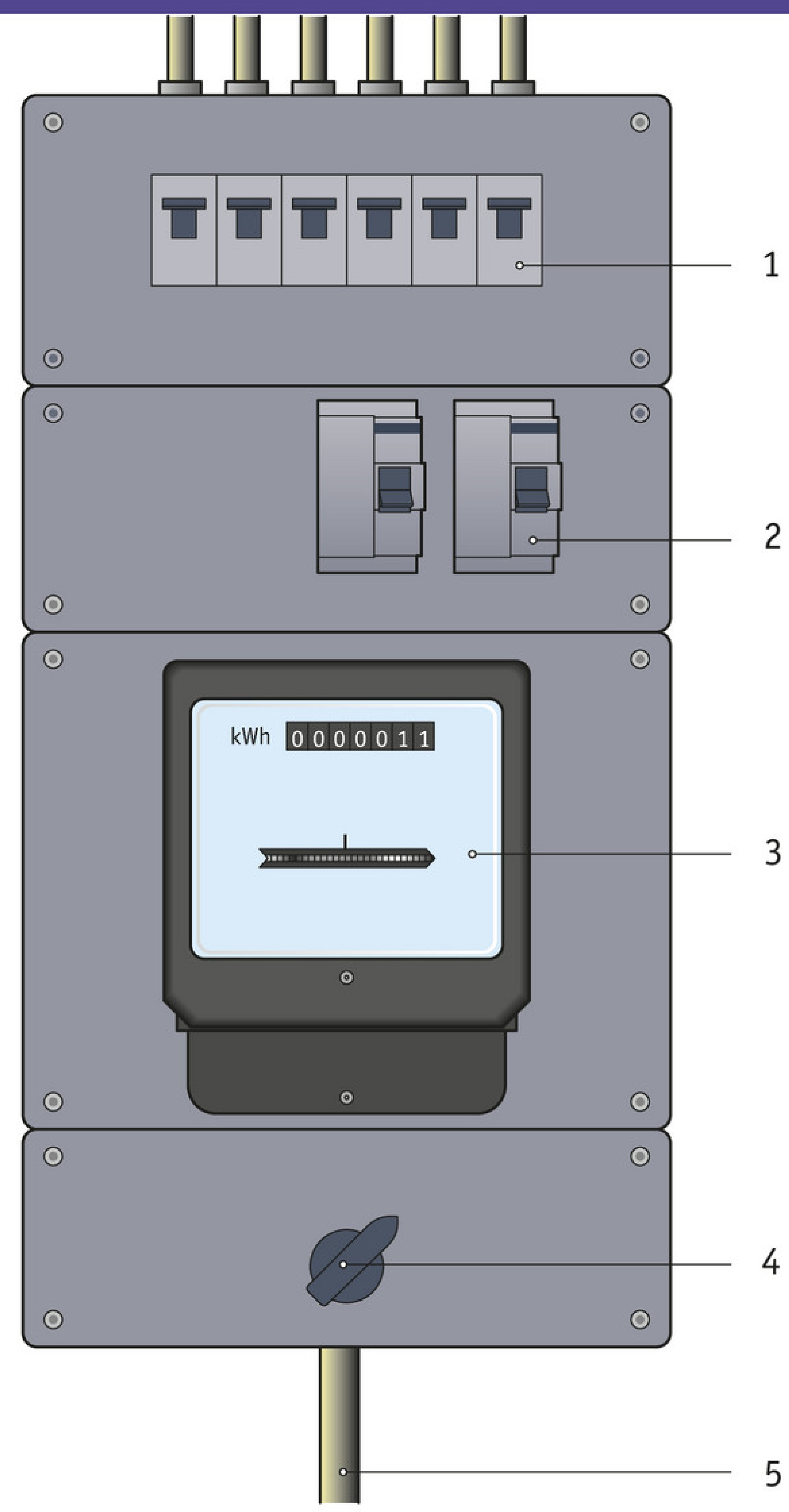
**10** Een wasdroger van 2400 W verbruikt per jaar 432 kWh.
Hoeveel uur staat die wasdroger gemiddeld per maand aan?

**11** Nathalie heeft een computer (450 W), een bureaulamp (12 W) en een ventilator (60 W) via een verlengsnoer aangesloten op een stopcontact.
De stroomsterkte door het verlengsnoer mag hoogstens 6 A worden.
Hoe groot wordt de stroomsterkte in het snoer als alle apparaten aanstaan?

**12** Vervolg van opgave 11.
Nathalie sluit ook nog een stofzuiger op het verlengsnoer aan. De stroomsterkte door het verlengsnoer stijgt daardoor tot 10 A.
Wat kan hiervan het gevolg zijn?
A Nathalie kan een schok krijgen als ze het snoer aanraakt.
B De computer kan door die grote stroomsterkte kapotgaan.
C De stroom kan dan met onregelmatige tussenpozen uitvallen.
D Het snoer kan dan zo heet worden dat er brand kan ontstaan.
E De aardlekschakelaar in de meterkast kan dan doorbranden.

**13** In figuur 52 zie je de meterkast van een woonhuis.
**a** Hoeveel groepen heeft deze huisinstallatie?
**b** Noteer de nummers 1 tot en met 5 onder elkaar. Noteer achter elk nummer hoe het bijbehorende onderdeel heet.

**14** Lees het krantenbericht in figuur 53.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.
In een elektrische deken is kortsluiting ontstaan. Dat betekent dat de weerstand van de deken opeens veel *groter / kleiner* is geworden. Daardoor werd de stroomsterkte door de deken veel *groter / kleiner*. Normaal gesproken voorkomt een *zekering / aardlekschakelaar* dat er bij kortsluiting brand ontstaat. Blijkbaar was de stroomsterkte te *groot / klein* voor de deken, maar nog te *groot / klein* om de *zekering / aardlekschakelaar* te laten 'omslaan'.




▲ **figuur 52**
de meterkast van een woonhuis



**Kortsluiting elektrische deken**

NIJMEGEN – Een kortsluiting in een elektrische deken is er de oorzaak van geweest dat zondagnacht een slaapkamer van een woning aan de Teersdijk nagenoeg volledig uitbrandde. De brand werd tijdig ontdekt zodat de bewoners een goed heenkomen konden zoeken. De rest van de woning liep flinke rook- en waterschade op.

▲ **figuur 53**
een deken die wel erg warm werd

**15** De isolatie van de vrieskist van meneer en mevrouw Schyns is kapot. Daardoor staat de metalen buitenkant van de vrieskist onder spanning. Als meneer Schyns de vrieskist aanraakt, loopt er een lekstroompje van 50 mA naar de aarde. Gelukkig voor meneer Schyns is er een apparaat in de meterkast dat de spanning dan meteen uitschakelt.
Hoe heet dit apparaat?
A de hoofdschakelaar
B de groepszekering
C de aardlekschakelaar
D de kWh-meter

**16** Noteer van elke bewering of hij waar of onwaar is.
**a** Als je huid nat wordt, wordt de contactweerstand (voor de stroom die het lichaam in of uit gaat) veel groter.
**b** Bij overbelasting is het totale vermogen van alle (werkende) apparaten in een groep groter dan 3680 W.
**c** Als het vermogen van een apparaat veranderlijk is, wordt op het typeplaatje het minimale vermogen vermeld.
**d** De installatieautomaten in de meterkast zorgen ervoor dat er in de huisinstallatie geen kortsluiting kan ontstaan.
**e** De aardrail in de meterkast is verbonden met een metalen pin die diep in de bodem is geslagen.

***17** Op de site www.nuon.nl stond in 2014 de volgende tekst:

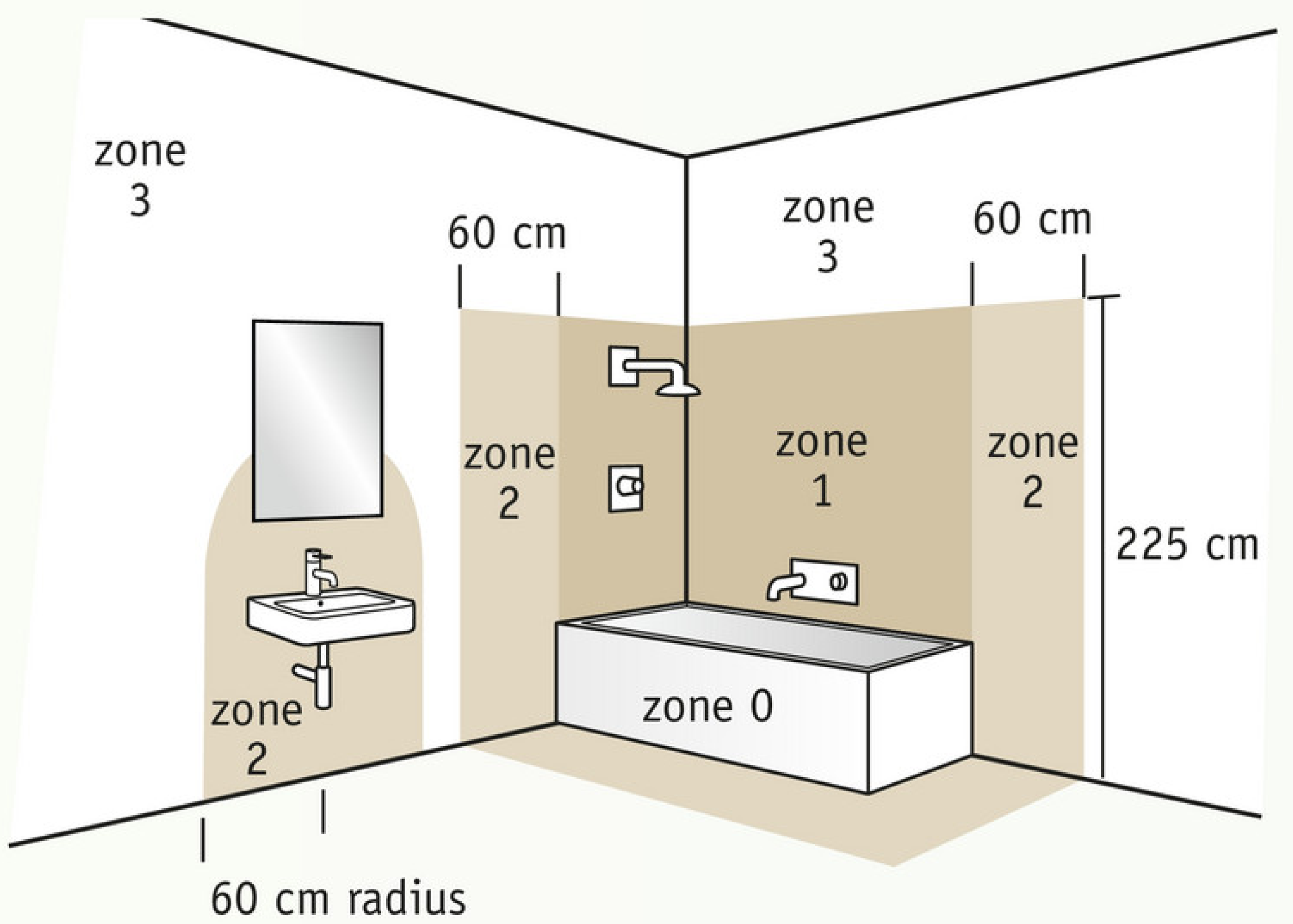
> Vraag u af of u het klokje op uw (combi)-magnetron echt nodig hebt. Zo niet, trek dan de stekker eruit als u de magnetron niet gebruikt. U bespaart € 4,- per jaar.

In 2014 betaalde je € 0,22 voor 1 kWh.
Bereken het vermogen van het klokje.

**18** Thomas en Lars discussiëren over het energieverbruik van elektrische apparaten. Thomas zegt: “Een lamp van 5 W verbruikt minder energie dan een boormachine van 1400 W”. Lars is van mening dat Thomas dit niet zomaar kan zeggen: “Dat hangt er maar van af.”
Leg uit wie er gelijk heeft en waarom.

***19** Sylvie heeft op het practicum een kWh-meter waarvan de schijf 1200 omwentelingen maakt per kWh. Om het vermogen van een broodrooster te bepalen, sluit ze het apparaat via de kWh-meter aan op het lichtnet. De schijf maakt dan precies 57 omwentelingen in 3,0 minuten.
Bereken met deze gegevens het vermogen van het broodrooster.

**20** Op de website van een energiebedrijf staat een pagina over badkamers (figuur 54).
**a** Waarom moet je juist in de badkamer niet zelf gaan knutselen met elektriciteit?
**b** De badkamer is ingedeeld in drie zones.
In welke zone is het gevaar voor ongelukken met elektriciteit het grootst?
**c** Waarom moet de armatuur (lamphouder) in zone 2 dubbel geïsoleerd zijn?
**d** Leg uit wat wordt bedoeld met ‘dubbel geïsoleerd’.




De badkamer is een plaats waar je niet zelf moet gaan knutselen met elektriciteit. Laat de aanleg van de elektrische installatie over aan een erkend installateur en beperk uzelf tot de keuze van de inrichting.
Voor de badkamer gelden strenge installatievoorschriften. De badkamer is daarvoor ingedeeld in drie zones. Zone 1 is boven het bad of de douchebak. Zone 2 is de ruimte vanaf bad of douche tot 60 cm en zone 3 loopt van 60 cm tot 2,4 m.
In zone 1 en 2 mogen bijvoorbeeld geen stopcontacten worden geplaatst. In zone 2 mogen alleen lampen worden geplaatst met een dubbel geïsoleerde armatuur. In zone 3 zijn alleen speciale veiligheidsstopcontacten toegestaan.

▲ **figuur 54**
veiligheid voor alles

# Een supernetwerk

**Duurzame energie wordt steeds belangrijker in Europa. Er is genoeg zon, wind en waterkracht om heel Europa van elektrische energie te voorzien. Waait het niet in Schotland, dan schijnt de zon wel in Spanje. Het probleem is alleen hoe je de energie daar krijgt, waar die nodig is. Hoe kun je duurzame elektriciteit van Spanje naar Schotland vervoeren, als Schotland te weinig heeft – of in omgekeerde richting, als Spanje tekortkomt? Het Europese supergrid zou een oplossing kunnen zijn.**





# voor Europa

Een nadeel van duurzame energiebronnen is, dat het aanbod zo kan fluctueren. De ene dag waait het flink en draaien de windturbines er vrolijk op los. De volgende dag is het windstil en produceren de windturbines nul komma nul. Zonne-energie is er alleen overdag, en het aanbod is in de zomer veel groter dan in winter.

Door al die fluctuaties hebben landen de ene keer een overschot aan duurzame energie en de andere keer een tekort. Dat is lastig, omdat er nog steeds geen goede transportmogelijkheden zijn. Landen met een overschot kunnen hun surplus aan energie niet kwijt aan de rest van Europa. Landen met een tekort kunnen geen duurzame elektriciteit importeren. En dus zetten ze hun oude, vervuilende centrales maar weer aan ...

### De NorNed-kabel

Nederland en Noorwegen laten zien dat het ook anders kan. In 2008 namen deze twee landen de NorNed-kabel in gebruik: een 580 km lange, onderzeese hoogspanningskabel tussen Feda in Noorwegen en de Eemshaven in Nederland. Vanaf dat moment kan Noorwegen elektrische energie leveren aan Nederland, of Nederland aan Noorwegen – het is maar net wat het voordeligst is.

In Noorwegen wordt vrijwel alle stroom geproduceerd met waterkracht uit stuwmeren. Dat is duurzaam en – meestal – ook goedkoop. Daar staat tegenover dat er in droge jaren grote tekorten kunnen ontstaan. De elektriciteit wordt dan opeens enorm duur. Nederland heeft in het noorden veel aardgas en er staan grote centrales. Die zijn weliswaar niet duurzaam, maar ze kunnen wel op elk gewenst moment elektriciteit leveren.

Het energieverbruik in de twee landen verschilt ook. In Nederland wordt ’s nachts maar weinig elektriciteit verbruikt, in Noorwegen is het energieverbruik ’s nachts vrij hoog. Nederland heeft verwarming met aardgas, Noorwegen heeft elektrische verwarming, die ’s winters veel energie opslorpt.

Door die verschillen kunnen beide landen van de NorNed-kabel profiteren. Overdag kan Noorwegen goedkope en schone *hydropower* naar Nederland exporteren. ’s Nachts kunnen de Nederlandse centrales constant door blijven draaien en stroom de andere kant op leveren, richting Noorwegen. En in droge jaren helpt de Nederlandse stroom voorkomen dat de Noren opeens met tekorten en een torenhoge energierekening worden geconfronteerd.

### HVDC-technologie

De hoogspanningsleidingen in Europa, ook die in Noorwegen en Nederland, werken met wisselspanning. Dat is een uitstekend systeem, zolang de afstanden maar



## Technische gegevens NorNed:

- kabellengte 580 km, waarvan 420 km kabel in ondiep water (tot 50 m diepte) en 160 km kabel op een diepte tot maximaal 410 m
- totale massa kabel: 47 000 ton
- massa koper in kabel: 9000 ton
- maximale spanning op de kabel: +450 kV en −450 kV
- kabelcapaciteit: 700 MW
- aanlegkosten: 600 miljoen euro

niet te groot zijn. Tot circa 100 km gaat het prima. Maar bij grotere afstanden ontstaan er problemen. Er gaat dan zo veel energie verloren in de kabels, dat het energietransport meer geld kost dan het oplevert.

De NorNed-kabel werkt met gelijkspanning. Het is een HVDC-verbinding die *high voltage* (= hoogspanning) combineert met *direct current* (= gelijkstroom). Er is voor de HVDC-technologie gekozen, omdat gelijkspanning voor grote afstanden efficiënter is dan wisselspanning. Dat maakt het rendabel om elektrische energie over honderden kilometers te vervoeren.

HVDC heeft ook nadelen. De wisselspanning van het gewone elektriciteitsnet moet speciaal voor de NorNed-kabel omgezet worden in gelijkspanning. Aan het andere uiteinde moet van die gelijkspanning weer wisselspanning worden gemaakt. Dat is technisch nog niet zo eenvoudig en vereist veel apparatuur. De convertorstations bij Feda en bij de Eemshaven beslaan elk circa twee voetbalvelden.

### Technisch hoogstandje

De NorNed-kabel heeft een capaciteit van 700 MW, genoeg om een miljoen huishoudens van elektrische energie te voorzien. Die 700 MW gaat door twee koperen aders met een doorsnede van slechts 3,5 cm. De kabel bestaat verder uit isolatiemateriaal, pantsering en afdichting. Binnenin loopt de temperatuur op tot 50 °C, aan de buitenkant tot hooguit 35 °C.

In de NorNed-verbinding is veel geavanceerde technologie toegepast. Dat maakt de verbinding ook storingsgevoelig. De kabel lag er in de eerste twee jaren tien keer uit, soms maanden achter elkaar. De oorzaken waren divers: kabelbreuken, kortsluiting, defecte onderdelen, haperende software.



Inmiddels lijken de kinderziektes overwonnen. Economisch is de kabel al vanaf het begin een groot succes. De handel in elektriciteit tussen Noorwegen en Nederland loopt als een trein. De 600 miljoen euro aanlegkosten waren er in 2014, zes jaar na de ingebruikname, al bijna weer uit. Dat had niemand van tevoren verwacht.

### De toekomst: een supergrid?

Het succes van de NorNed-kabel staat niet op zichzelf. Er zijn meer landen in Europa met een HVDC-verbinding, zoals Frankrijk en Groot-Brittannië (2000 MW, 73 km), Griekenland en Italië (500 MW, 313 km) en Polen en Zweden (254 km, 600 MW). Volgens sommige energiedeskundigen is dit nog maar het begin. Met de huidige HVDC-technologie kan één kabel tot 7000 MW vervoeren over meer dan 2000 km: de afstand tussen Edinburgh in Schotland en Sevilla in Zuid-Spanje. Dat maakt het technisch mogelijk om alle landen in Europa te verbinden in één groot Europees supernetwerk.

Zo'n *European supergrid* is goed nieuws voor producenten van duurzame energie. Europa wil een groot deel van zijn elektriciteit duurzaam opwekken. Het supernetwerk maakt dat mogelijk doordat duurzame energie gemakkelijk geïmporteerd en geëxporteerd kan worden: de nationale energiebedrijven kunnen pieken en dalen in het aanbod daardoor veel beter opvangen.

Maar zover is het nog lang niet. Om te beginnen zal er geld op tafel moeten komen. De kosten van een supernetwerk worden geschat op meer dan 125 miljard euro. Geen bedrag dat de landen in Europa zomaar even kunnen ophoesten. Ook zullen er afspraken moeten komen over het gebruik en het beheer, en dat is met zoveel verschillende landen niet eenvoudig.

Energielobbyist Tara Connolly van milieuorganisatie Greenpeace is desondanks optimistisch: "Een groot deel van het huidige netwerk is veertig jaar oud en moet binnenkort worden vervangen. Investeren moeten we toch – het gaat erom waaraan we ons geld het best kunnen besteden." Zij kiest overtuigd voor een Europees supernetwerk. En nu maar afwachten of Europa het daar mee eens is.



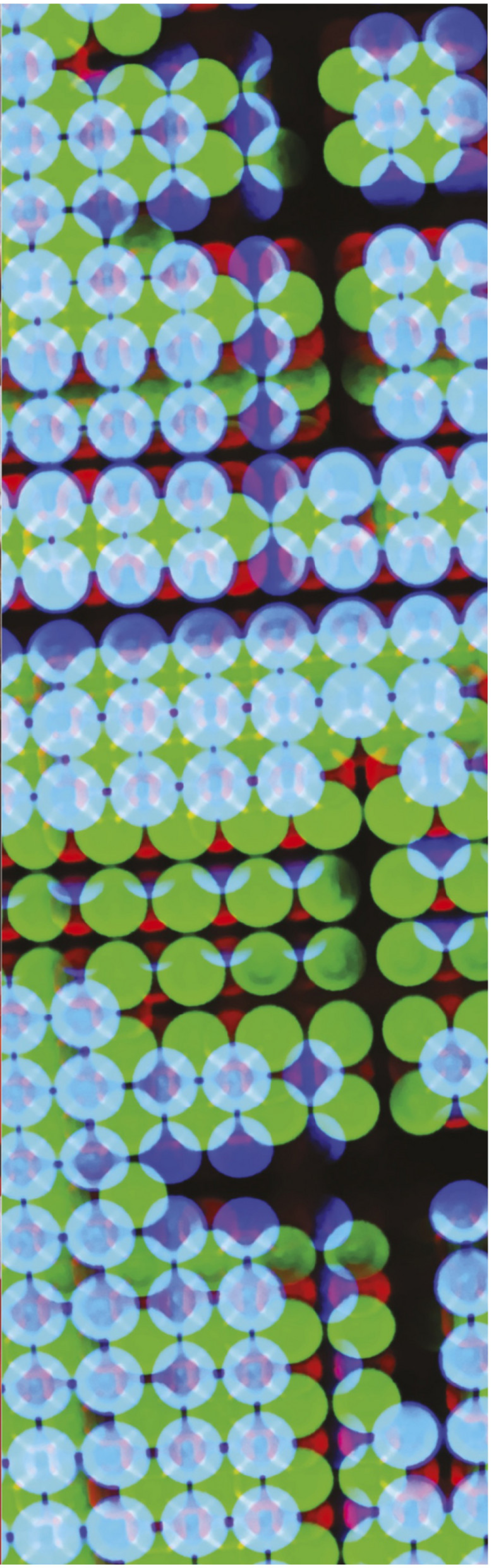
### Opgaven

**1** Bereken met de gegevens in de tekst:
- **a** hoe groot de (totale) stroomsterkte door de koperen aders is, als de maximale capaciteit van de NorNed-kabel wordt benut.
- **b** hoeveel kWh elektrische energie de NorNed-kabel in één dag kan vervoeren van Nederland naar Noorwegen (of omgekeerd).

**2** Voor de NorNed-kabel is gebruikgemaakt van de HVDC-technologie.
- **a** Waarom wordt er voor energietransport over lange afstand gekozen voor HVDC-kabels in plaats van gewone hoogspanningslijnen?
- **b** Waarom is HVDC niet geschikt voor het gewone elektriciteitsnet, dat de elektrische energie verdeelt over steden en dorpen?

**3** Technisch is het mogelijk om een Duits overschot aan windenergie tijdelijk op te slaan in Noorse stuwmeren. Er zijn plannen om hiervoor een HVDC-verbinding te leggen tussen Duitsland en Noorwegen.
Leg uit:
- **a** hoe je een overschot aan duurzame energie kunt opslaan in een stuwmeer.
- **b** hoe het komt dat de opslagcapaciteit beperkt is en niet altijd even groot.
- **c** op welke manier je de opgeslagen energie weer uit het stuwmeer kunt halen.





# 3 Licht en lenzen

## Beelden maken met licht

**Optische apparaten zoals camera's, beamers en telescopen, maken beelden met licht. Om zo'n beeld te maken, moet het licht op een speciale manier van richting worden veranderd. De meeste optische apparaten doen dat met lenzen.**

# 1 Lichtbreking



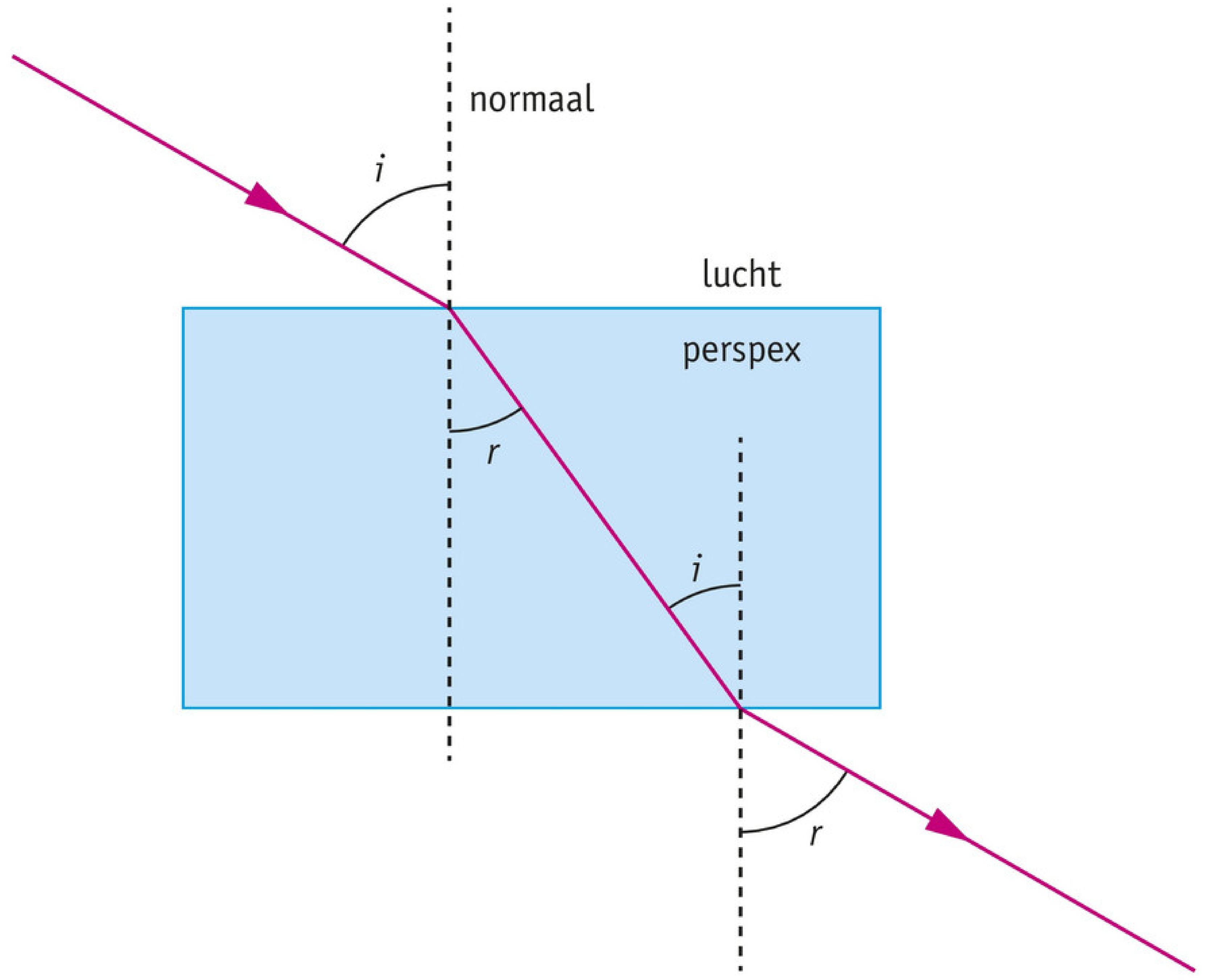
▲ figuur 1
Dit effect ontstaat door lichtbreking.

**Spiegels, lenzen en prisma's zijn ontworpen om licht van richting te laten veranderen. Je kunt ze gebruiken om licht te sturen in de richting waarin je wilt. Met de lens in een vergrootglas kun je het zonlicht bijvoorbeeld concentreren in één punt, zodat de temperatuur daar hoog oploopt.**

## De hoek van inval en de hoek van breking Proef 1

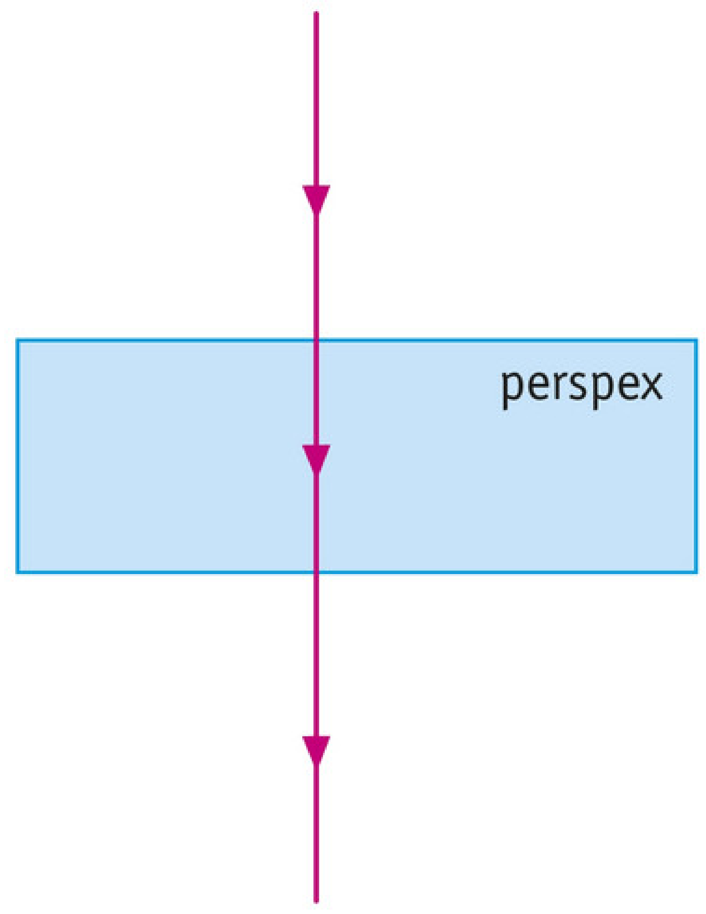
Licht beweegt langs rechte lijnen. Maar als een dunne lichtbundel – een lichtstraal – op het grensvlak tussen twee doorzichtige stoffen valt, geldt die regel niet meer: het licht verandert dan van richting. Dit verschijnsel heet **lichtbreking**. In figuur 1 zie je een effect van lichtbreking: je ziet het rietje onder water niet meer op de juiste plaats.

In figuur 2 is getekend hoe een lichtstraal door een perspex blokje wordt gebroken. Op de plaats waar de lichtstraal het perspex raakt, is de **normaal** getekend. Dat is de gestippelde lijn die loodrecht op het grensvlak staat. De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal heet de **hoek van inval** ($\angle i$). De hoek tussen de gebroken lichtstraal en de normaal heet de **hoek van breking** ($\angle r$).




▶ figuur 2
Als licht door een perspex blokje beweegt, wordt het twee keer gebroken.

Als lichtstralen van lucht naar perspex gaan, worden ze naar de normaal toe gebroken: $\angle r$ is dan altijd kleiner dan $\angle i$.
Als lichtstralen van perspex naar lucht gaan, worden ze bij de normaal vandaan gebroken: $\angle r$ is dan altijd groter dan $\angle i$.



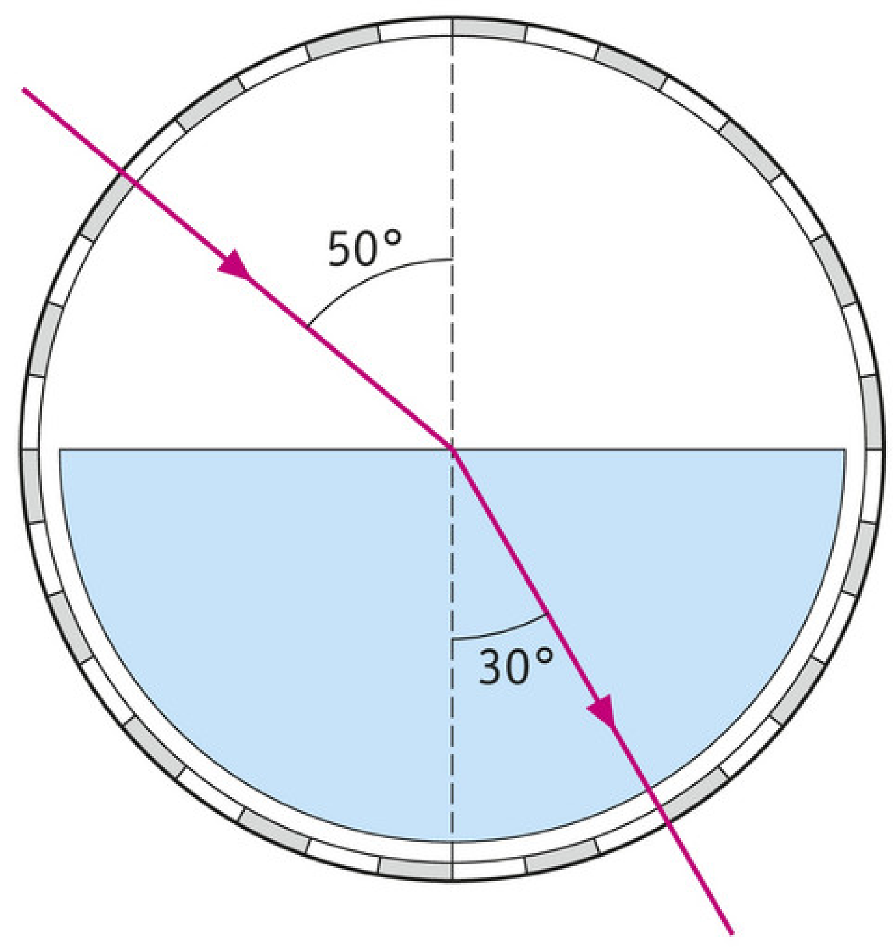

▲ **figuur 3**
Een lichtstraal loodrecht op een grensvlak verandert niet van richting.

Lichtstralen die loodrecht op het perspex vallen, veranderen niet van richting (figuur 3).

Op het grensvlak tussen glas en lucht of water en lucht wordt het licht op bijna dezelfde manier gebroken.

## Het verband tussen ∠*i* en ∠*r* Proef 2

In figuur 4 zie je hoe een lichtstraal door een halfronde perspex schijf wordt gebroken. De lichtstraal verandert alleen van richting als hij het stuk perspex binnenkomt. Op de gradenboog kun je de hoek van inval en de bijbehorende hoek van breking aflezen. Op die manier is tabel 1 gemaakt. Aan de ronde kant van het stuk perspex wordt de lichtstraal niet gebroken. De hoek van inval is daar 0°.

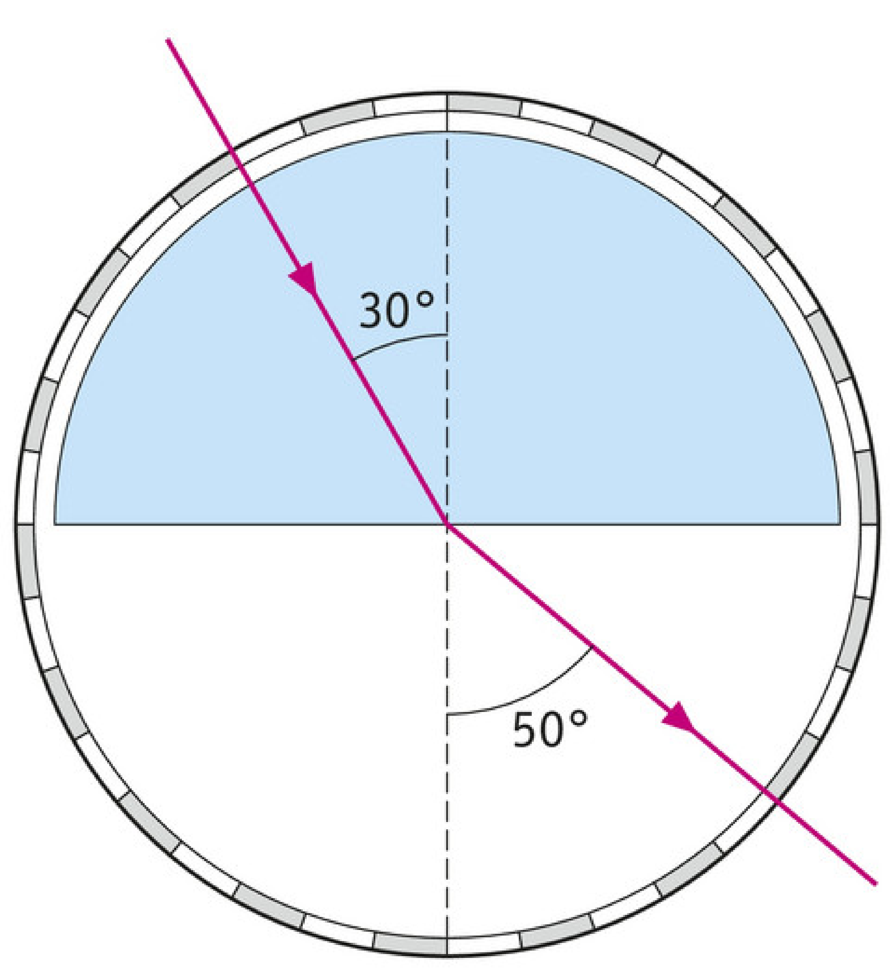



◀ **figuur 4**
Zo meet je ∠*i* en ∠*r* bij de breking van lucht naar perspex.

▼ **tabel 1** het verband tussen ∠*i* en ∠*r* bij breking van lucht naar perspex

| ∠*i* | ∠*r* |
|---|---|
| 10° | 7° |
| 20° | 13° |
| 30° | 20° |
| 40° | 25° |
| 50° | 30° |
| 60° | 35° |
| 70° | 39° |
| 80° | 41° |
| 90° | 42° |

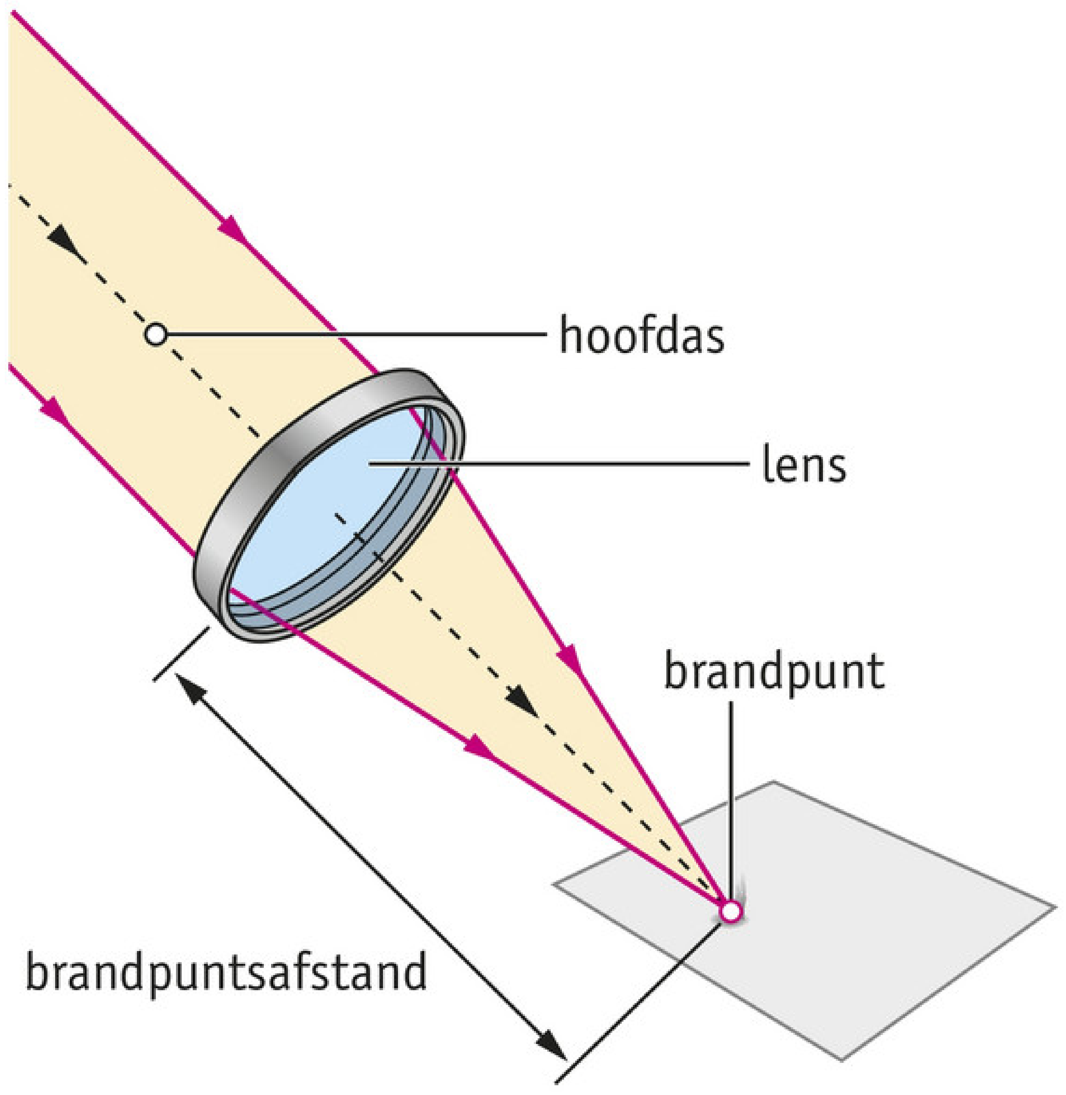
Je kunt de lichtstraal ook eerst op de ronde kant van de perspex schijf laten vallen (figuur 5). In dat geval wordt de lichtstraal alleen gebroken als hij het stuk perspex weer verlaat. Ook nu kun je weer een aantal keren ∠*i* en ∠*r* meten. Het resultaat zie je in tabel 2. Let erop dat de waarden van ∠*i* en ∠*r* in tabel 2 'omgewisseld' lijken te zijn. In tabel 1 staat ∠*i* = 30° naast ∠*r* = 50°, in tabel 2 staat ∠*i* = 50° naast ∠*r* = 30°.



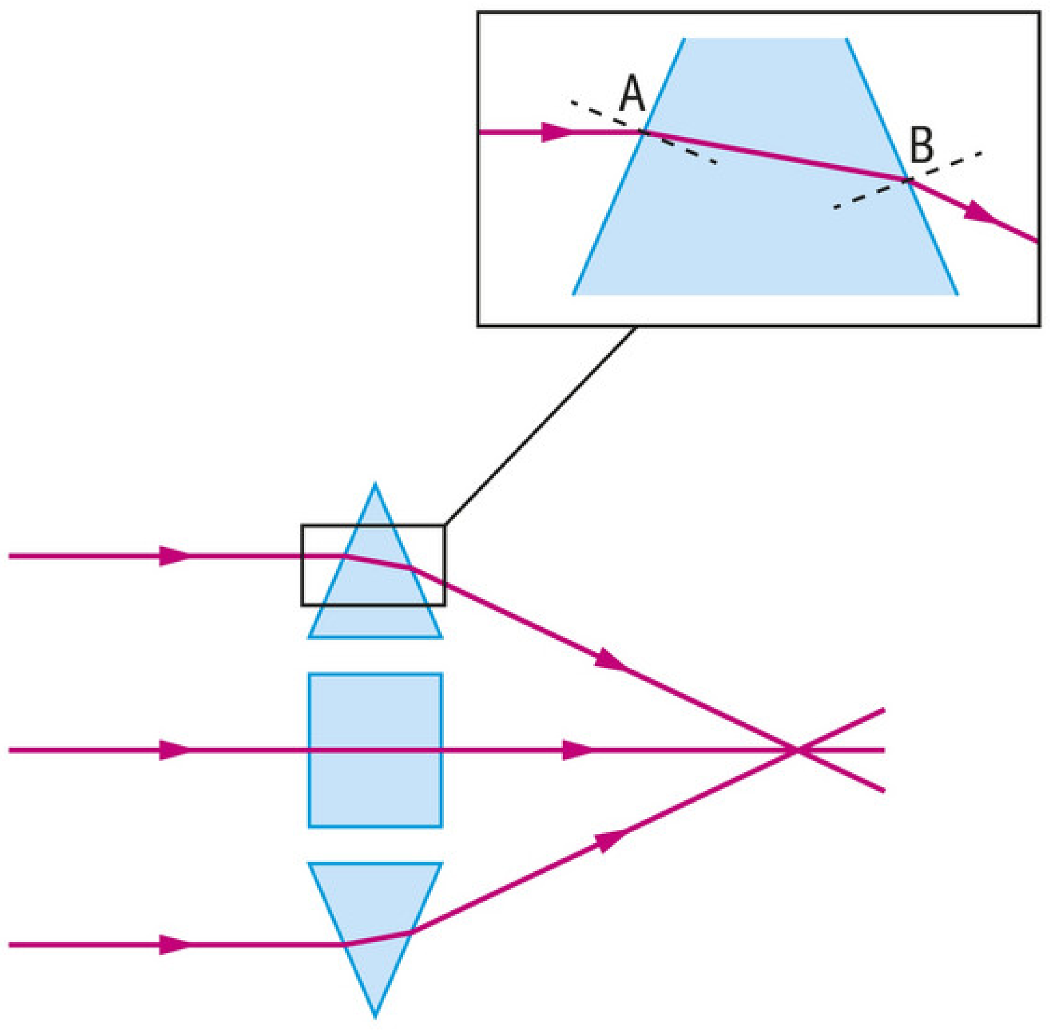

◀ **figuur 5**
Zo meet je ∠*i* en ∠*r* bij de breking van perspex naar lucht.

▼ **tabel 2** het verband tussen ∠*i* en ∠*r* bij breking van perspex naar lucht

| ∠*i* | ∠*r* |
|---|---|
| 5° | 7,5° |
| 10° | 15° |
| 15° | 23° |
| 20° | 30° |
| 25° | 40° |
| 30° | 50° |
| 35° | 60° |
| 40° | 74° |
| 42° | 90° |
| 45° | -- |
| enzovoort | -- |




▲ **figuur 6**
Zo werkt een brandglas.




▲ **figuur 7**
de lichtbreking door een lens (vereenvoudigd)

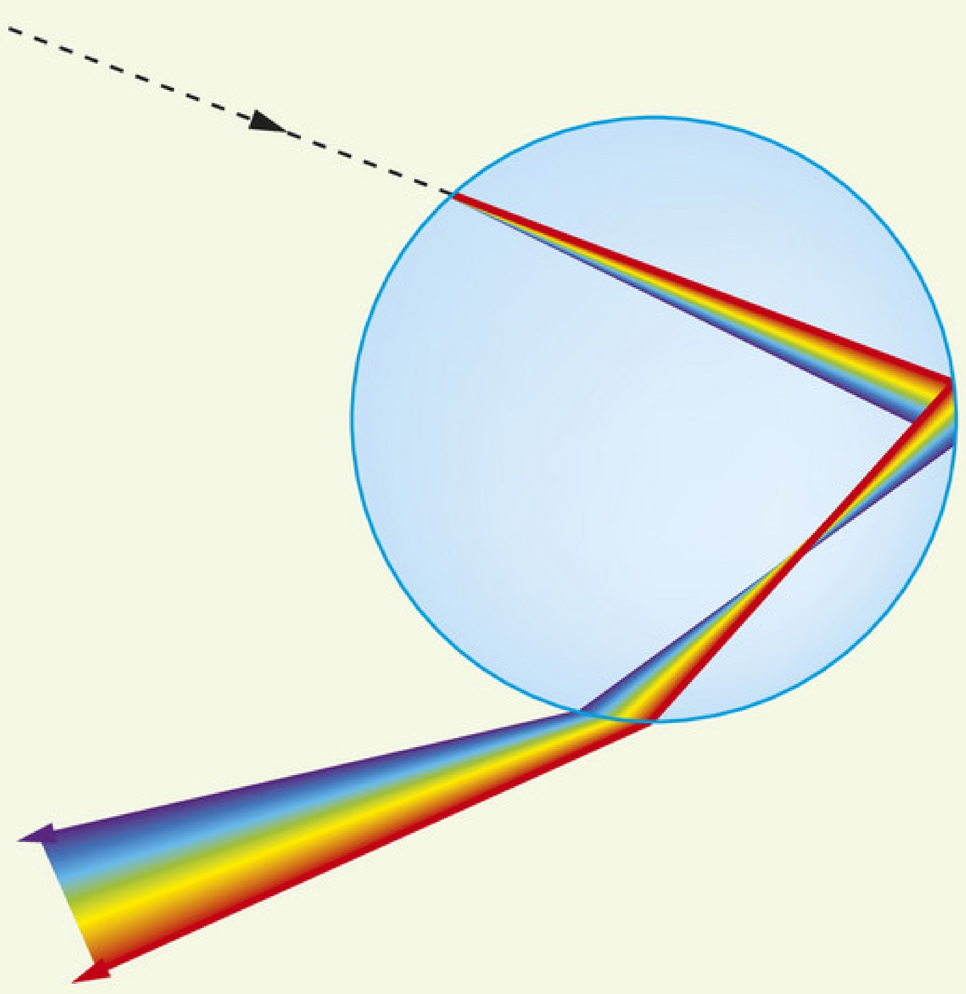
Zoals je in tabel 2 kunt zien, stopt de rij meetresultaten bij een hoek van inval van 42°. De hoek van breking is dan 90°. Als je de hoek van inval groter maakt dan 42°, wordt de lichtstraal niet meer gebroken, maar volledig teruggekaatst. In dat geval geldt de spiegelwet: $\angle i = \angle t$, net als voor een gewone spiegel.

## Lichtbreking bij een lens Proef 3

Met een vergrootglas kun je een evenwijdige bundel zonlicht concentreren in één punt. In zo'n vergrootglas zit een **lens** van glas of kunststof die de lichtstralen van richting verandert. In figuur 6 zie je hoe dat gaat. Voordat de lichtstralen op de lens vallen, lopen ze evenwijdig aan de **hoofdas**: de lijn die door het midden van de lens loopt, loodrecht op de lens. Na de lens bewegen de lichtstralen naar elkaar toe en ontmoeten elkaar in één punt: het **brandpunt**.

In tekeningen wordt het brandpunt aangegeven met de letter F (van *focus* = brandpunt). De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt F wordt de **brandpuntsafstand** $f$ genoemd. De brandpuntsafstand is een belangrijke eigenschap van een lens. Hoe kleiner de brandpuntsafstand is, des te sterker breekt de lens het licht.

Met behulp van figuur 7 kun je begrijpen hoe een lens het licht breekt. De 'lens' bestaat uit twee prisma's (driehoekige stukken glas) en één rechthoek. De prisma's breken een lichtstraal die erop valt, twee keer: de eerste keer (bij A) naar de normaal toe, de tweede keer (bij B) bij de normaal vandaan. Dit zorgt ervoor dat de lichtstraal wordt afgebogen, naar de hoofdas toe. De lichtstraal die op het middelste deel van de 'lens' valt, gaat rechtdoor. Een eindje verder komen de drie getekende lichtstralen samen in het brandpunt.



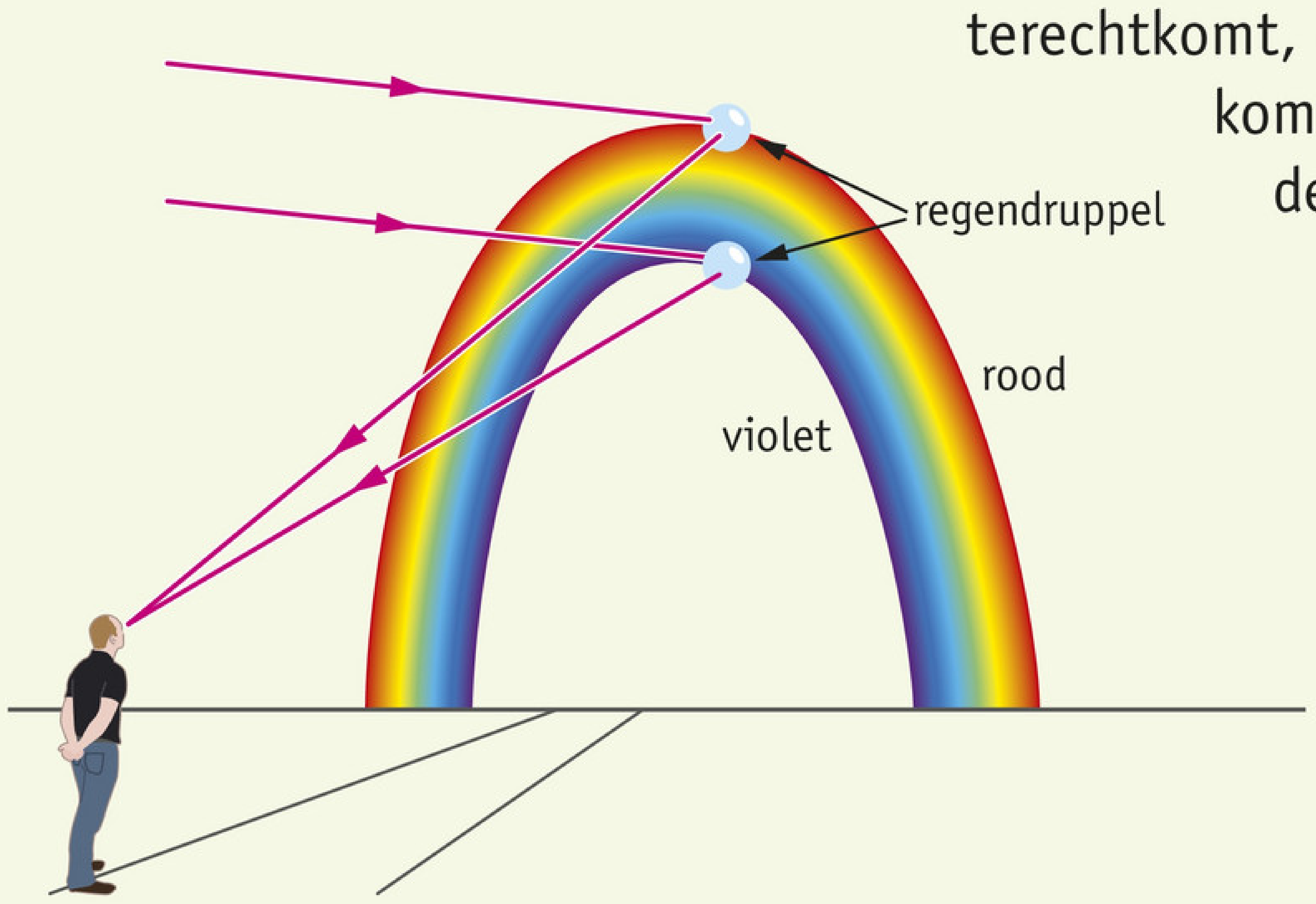
▲ **figuur 8**
lichtbreking door een waterdruppel

## **Plus** De regenboog

Als zonlicht op waterdruppels valt, ontstaat er een spectrum aan kleuren: rood, oranje, geel, groen, blauw en violet. In figuur 8 zie je wat een waterdruppel met het invallende zonlicht doet. Het zonlicht wordt eerst gebroken, als het de druppel binnenkomt. Daarna wordt het weerkaatst aan de andere kant van de druppel. Ten slotte wordt het voor de tweede keer gebroken, als het de druppel weer verlaat.

Zoals in figuur 8 getekend is, wordt de ene spectraalkleur sterker gebroken dan de andere: violet licht wordt het sterkst gebroken, rood licht het zwakst. Daardoor komt er maar één spectraalkleur in je ogen terecht, als je onder de juiste hoek naar zo'n waterdruppel kijkt. De overige spectraalkleuren worden net iets te sterk of net iets te zwak gebroken, en bereiken je ogen niet.

Je ziet een regenboog – een volledig spectrum – als je naar heel veel waterdruppels tegelijk kijkt. Je ogen vangen dan rood licht op uit een ring waterdruppels die de daarvoor vereiste hoek met je ogen maken. Daarbinnen ligt een ring waterdruppels waaruit oranje licht in je ogen terechtkomt, enzovoort, tot aan het violette licht aan toe. Het rode licht komt van de buitenste ring waterdruppels, het violette licht van de binnenste (figuur 9).




**figuur 9**
Zo ontstaat een regenboog.

## opgaven Leerstof

**1** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Wat wordt bedoeld met ‘de normaal op het grensvlak tussen de stoffen’?

**b** Hoe wordt een lichtstraal gebroken, als hij van lucht naar perspex gaat?

**c** Hoe wordt een lichtstraal gebroken, als hij van perspex naar lucht gaat?

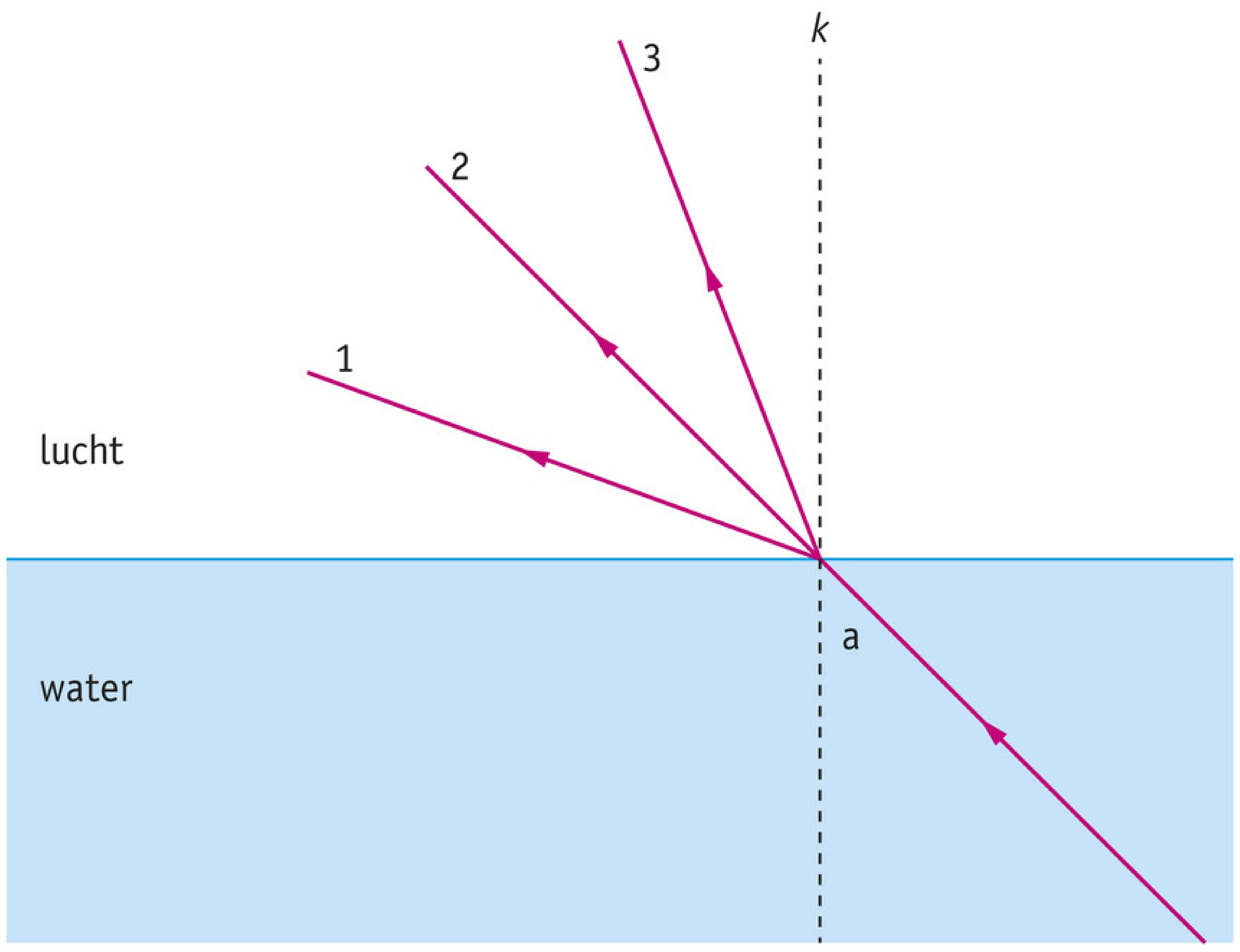
**d** Hoe kun je een evenwijdige bundel zonlicht concentreren in één punt?

**2** In figuur 10 gaat een lichtstraal van water naar lucht. Slechts één gebroken lichtstraal (1, 2 of 3) is correct getekend.

**a** Hoe heet de stippellijn *k*?

**b** Hoe heet de hoek a?

**c** Leg uit welke lichtstraal (1, 2 of 3) correct getekend is.



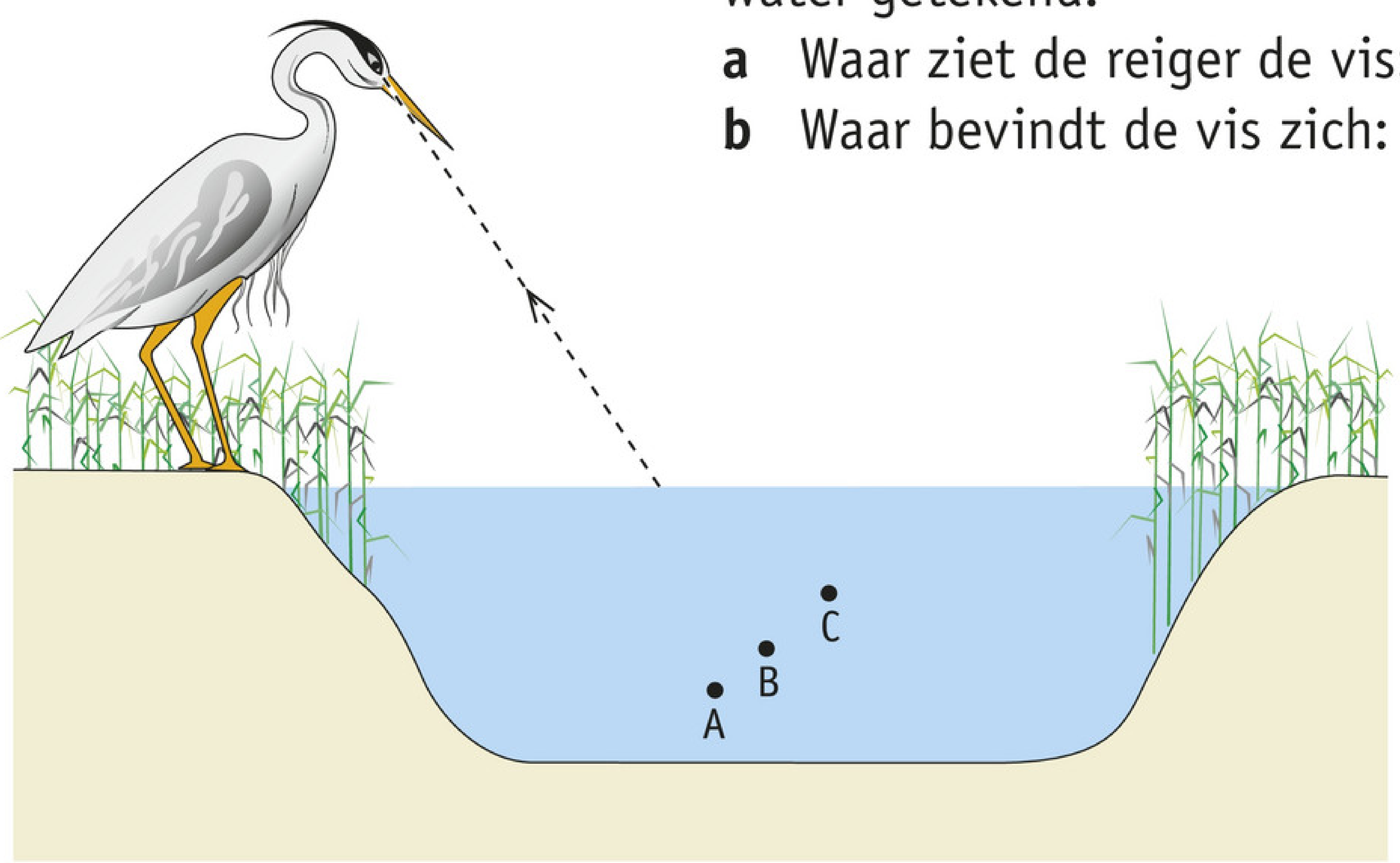

**figuur 10**
lijnen en hoeken

## Toepassing

**3** Bij deze opgave heb je werkblad 3-1 nodig.
Je ziet hoe twee lichtstralen op een glazen ruit vallen.
Schets op het werkblad:
**a** hoe lichtstraal 1 door de ruit heen beweegt.
**b** hoe lichtstraal 2 wordt gebroken als hij op de ruit valt.
**c** hoe lichtstraal 2 wordt gebroken als hij de ruit weer verlaat.

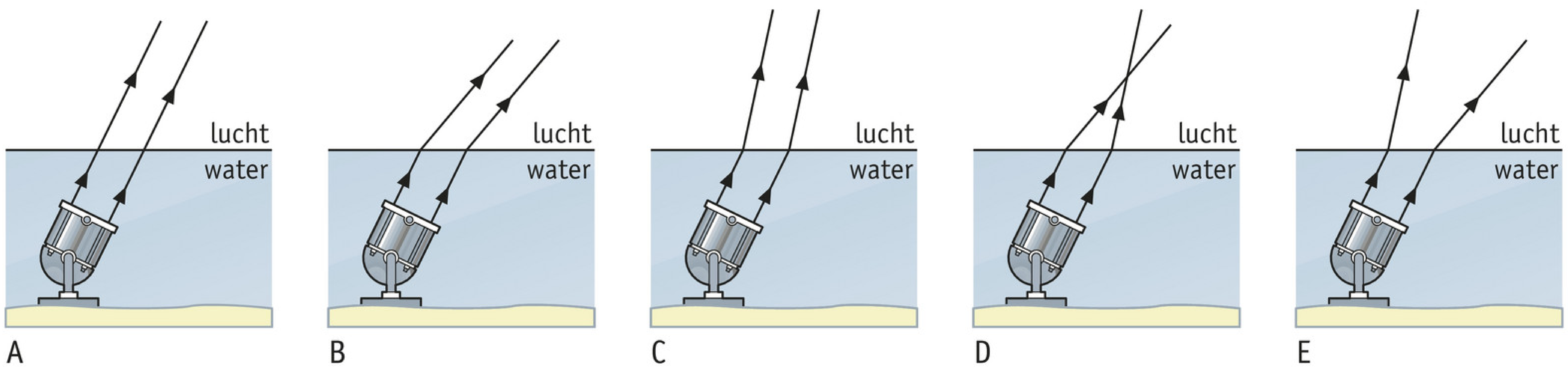
**4** Als je door een dik stuk glas heen kijkt, lijken de voorwerpen achter het glas vaak een beetje verschoven te zijn.
Wanneer is deze verschuiving het grootst: als je recht door het glas kijkt of schuin door het glas? Licht je antwoord toe met een tekening.

**5** Een reiger kijkt naar een vis die in het water zwemt (figuur 11). Van een lichtstraal die van de vis afkomstig is, is slechts het gedeelte boven water getekend.
**a** Waar ziet de reiger de vis: bij A, B of C?
**b** Waar bevindt de vis zich: bij A, B of C?




◀ **figuur 11**
weet waar je moet kijken

**6** Onder water is een schijnwerper aangebracht.
Welke van de vijf tekeningen in figuur 12 geeft de juiste stralengang weer?

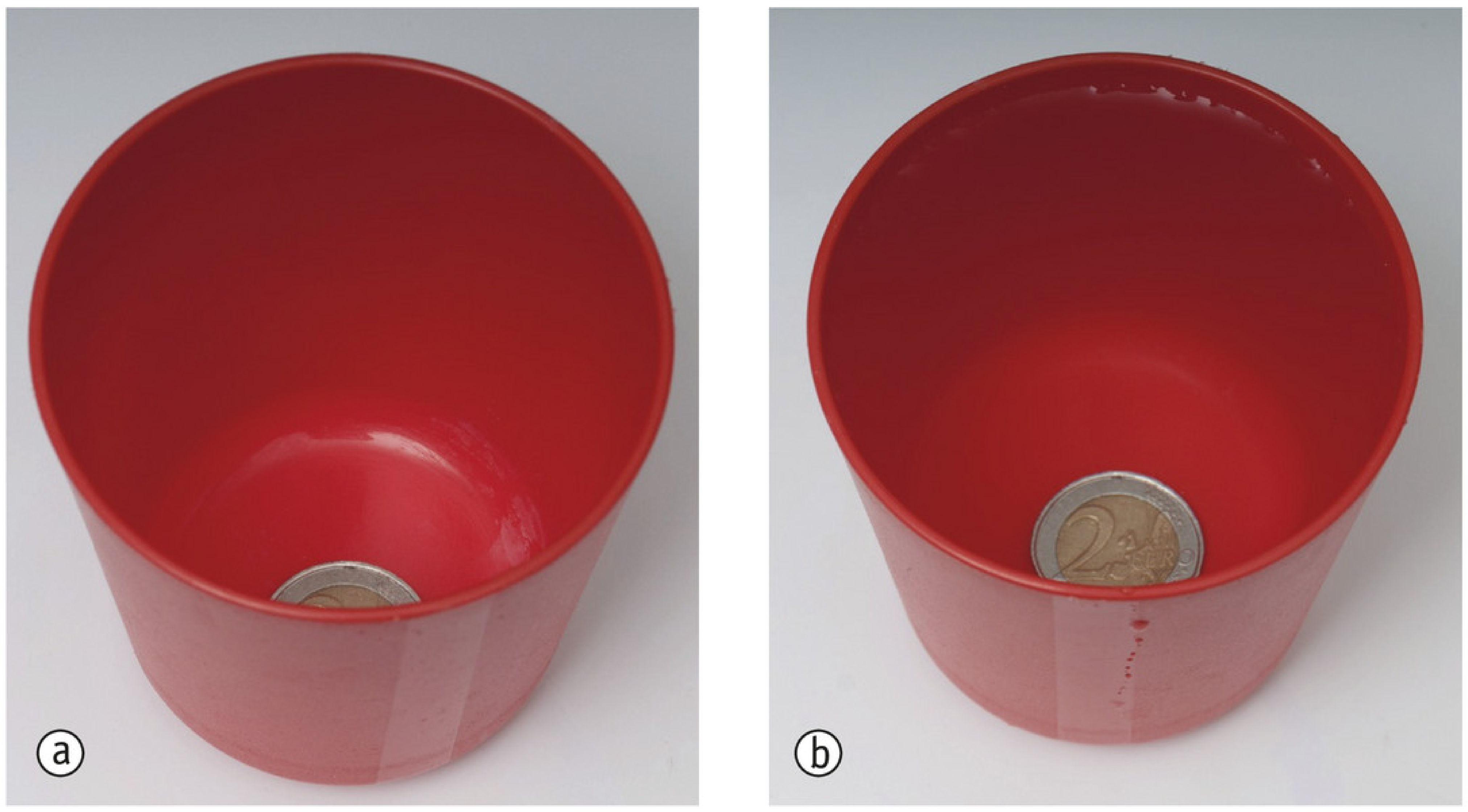



▲ **figuur 12**
schijnwerper in een vijver

**7** Bij deze opgave heb je werkblad 3-2 nodig.
Op een glazen voorwerp valt een lichtstraal. De lichtstraal beweegt door het voorwerp heen en komt aan de andere kant weer tevoorschijn.
Schets in de tekening op het werkblad:
**a** hoe het voorwerp eruitziet dat het licht breekt.
**b** hoe de lichtstraal door dat voorwerp heen beweegt.

**8** Bij deze opgave heb je werkblad 3-3 nodig.
Een evenwijdige lichtbundel valt op de lens van een vergrootglas.
**a** Leg uit hoe het komt dat lichtstraal 3 niet van richting verandert.
**b** Schets op het werkblad hoe de vier lichtstralen verder bewegen.

***9** Karen legt een munt in een bakje. Ze schuift het bakje bij zich vandaan tot ze het muntje net niet meer ziet (figuur 13a). Als ze het kommetje met water vult, ziet ze het muntje weer tevoorschijn komen (figuur 13b). Leg met behulp van een tekening uit waardoor Karen het muntje weer kan zien.

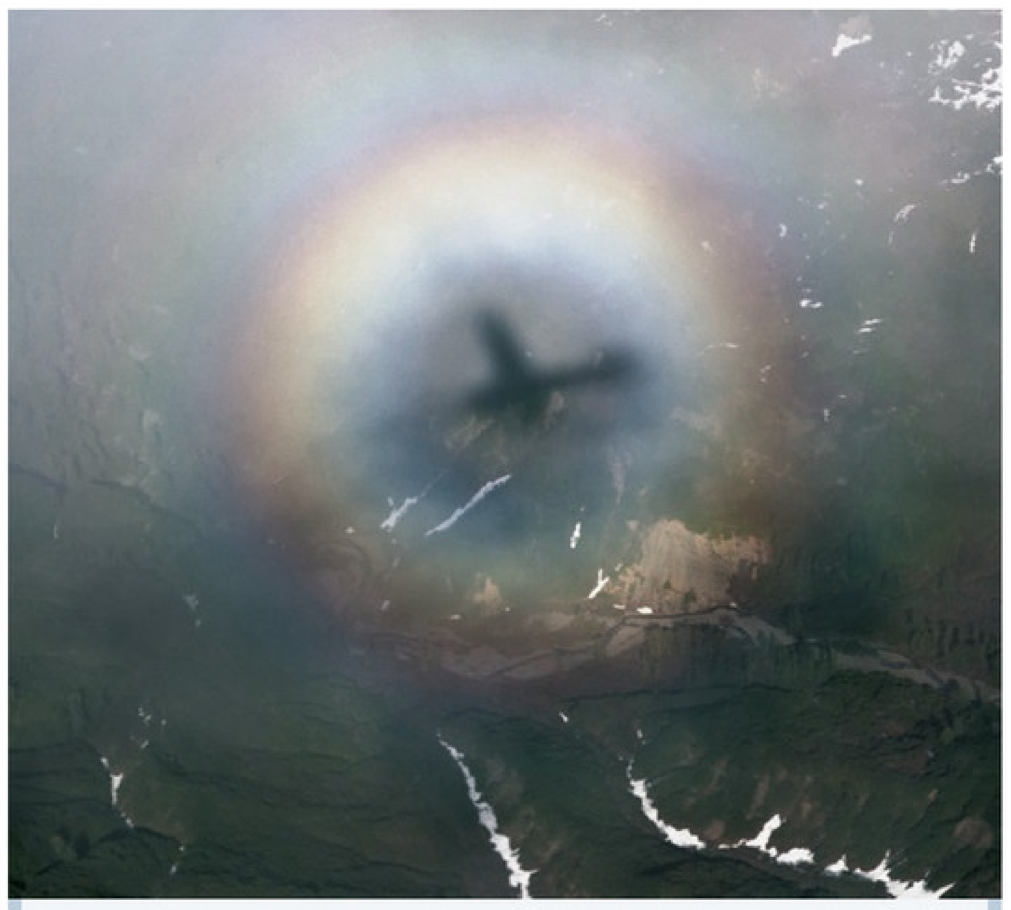


▶ **figuur 13**
een muntje in een bakje

## Plus De regenboog

**10** In figuur 14 zie je een kort fragment van een website over weersverschijnselen.
**a** Van waaruit is de regenboog in figuur 14 gefotografeerd?
**b** Vanaf de grond is nooit een volledig cirkelvormige regenboog te zien. Leg uit hoe dat komt.
**c** De foto in figuur 14 is genomen met de zon in de rug van de fotograaf. Hoe kun je dat aan de foto zien?

**11** Bij deze opgave heb je werkblad 3-4 nodig.
Op het werkblad is een waterdruppel getekend. Je ziet hoe een lichtstraal van A naar B door de druppel beweegt.
**a** Schets hoe de lichtstraal loopt voordat hij in punt A op de druppel valt.
**b** Schets hoe de lichtstraal verder loopt nadat hij punt B heeft gepasseerd.



Een regenboog is een boog van regendruppels die het zonlicht zo breken dat het in je ogen terechtkomt. Je kunt de regenboog alleen zien met de zon in de rug. Wanneer de horizon niet in de weg zit, heeft de regenboog de vorm van een volledige cirkel.

◀ **figuur 14**
een cirkelvormige regenboog

# 2 Lenzen



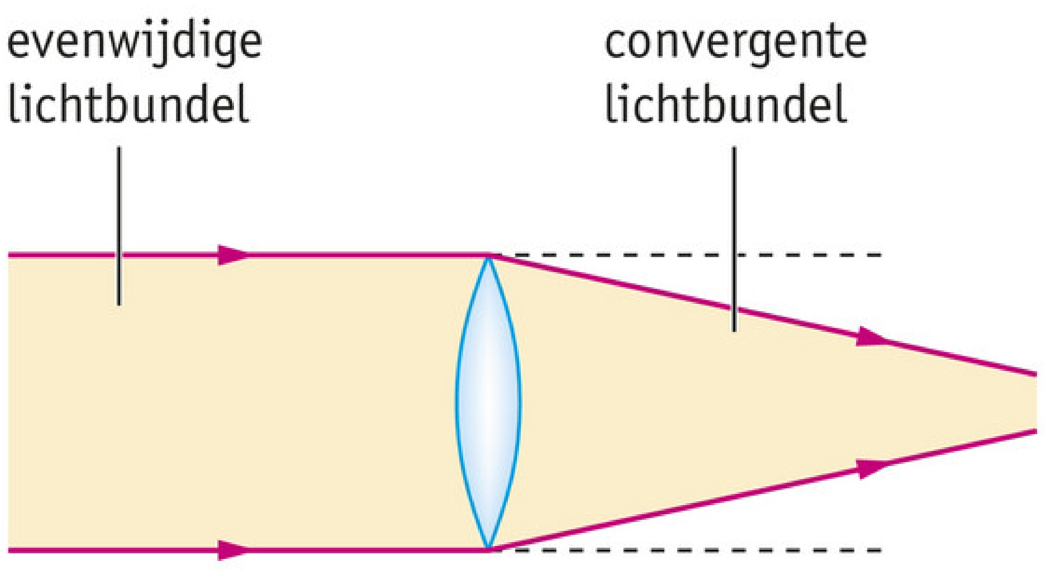
▲ **figuur 15**
In een vergrootglas zit altijd een positieve lens.

**Lenzen kom je in allerlei apparaten tegen: camera's, verrekijkers, beamers en telefoons. De glazen in een bril zijn ook lenzen, net als contactlenzen en de 'natuurlijke' lenzen in je ogen. Dankzij lenzen kun je de wereld om je heen scherp zien en beelden van die wereld vastleggen in foto's en filmpjes.**

## Positieve en negatieve lenzen

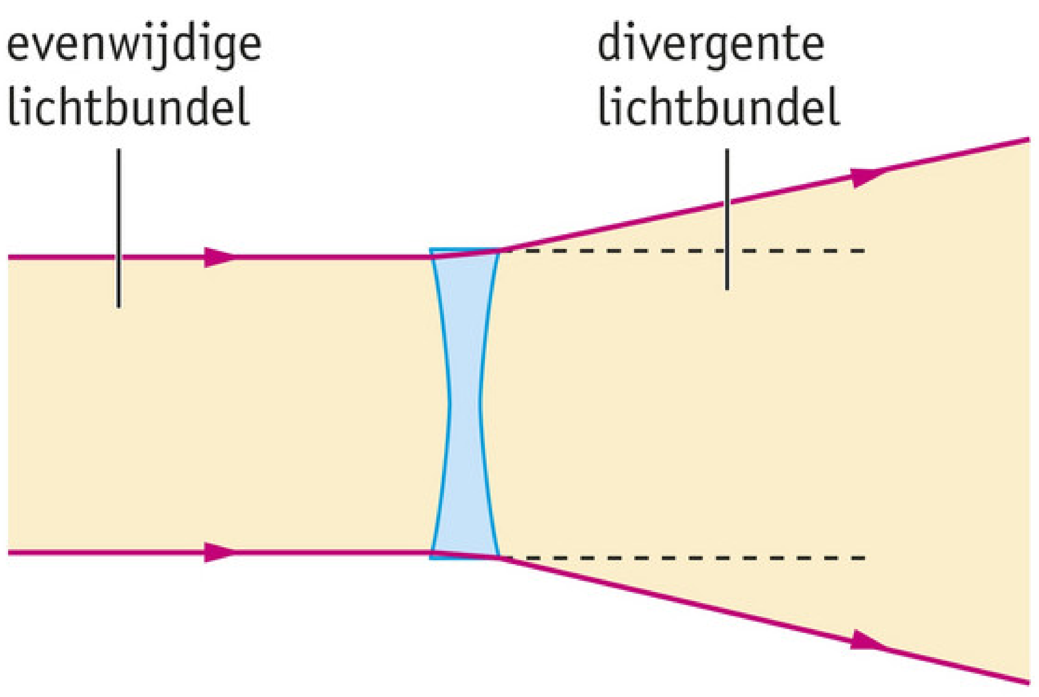
Je kunt lenzen in twee groepen verdelen: **positieve** en **negatieve lenzen** (figuur 15). Positieve lenzen zijn aan de rand dunner dan in het midden. Ze worden daarom ook wel bolle lenzen genoemd. Negatieve lenzen zijn aan de rand dikker dan in het midden. Daarom worden ze ook wel holle lenzen genoemd.

Positieve lenzen werken **convergerend**. Dat betekent dat lichtstralen die op de lens vallen, worden afgebogen naar binnen, naar de hoofdas toe. Je ziet dat als je de lichtstralen vóór de lens doortrekt als stippellijnen. Een evenwijdige bundel zonlicht voor de lens wordt een **convergente** bundel na de lens (figuur 16). Hoe boller de lens is, des te sterker is de convergerende werking.




▶ **figuur 16**
convergerende werking

Negatieve lenzen werken **divergerend**. Dat betekent dat lichtstralen die op de lens vallen, worden afgebogen naar buiten, bij de hoofdas vandaan. Een evenwijdige bundel zonlicht voor de lens wordt een **divergente** bundel na de lens (figuur 17). Hoe holler de lens is, des te sterker is de divergerende werking.




▶ **figuur 17**
divergerende werking



▲ **figuur 18**
een foto met een zwart paard (scherp) en een wit paard (onscherp)

## Beelden maken met een lens Proef 4

Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm. Dat doe je bijvoorbeeld als je een foto maakt. Een lens in de camera beeldt de wereld voor de lens verkleind af op een lichtgevoelige beeldchip (CCD of CMOS). Een computer in de camera legt het beeld punt voor punt vast in een bestand. Het bestand wordt daarna opgeslagen op een geheugenkaart. Daardoor kun je het beeld later bekijken, uploaden of afdrukken.

Als je een foto neemt, valt er licht van het voorwerp op de lens. Dat kan gereflecteerd licht zijn of licht dat door het voorwerp wordt uitgezonden. De lens zorgt ervoor dat licht uit één punt van het voorwerp ook weer in één punt bij elkaar komt. Dat punt noem je het **beeldpunt** B van het voorwerpspunt V. Eén foto bestaat uit miljoenen van zulke beeldpunten.

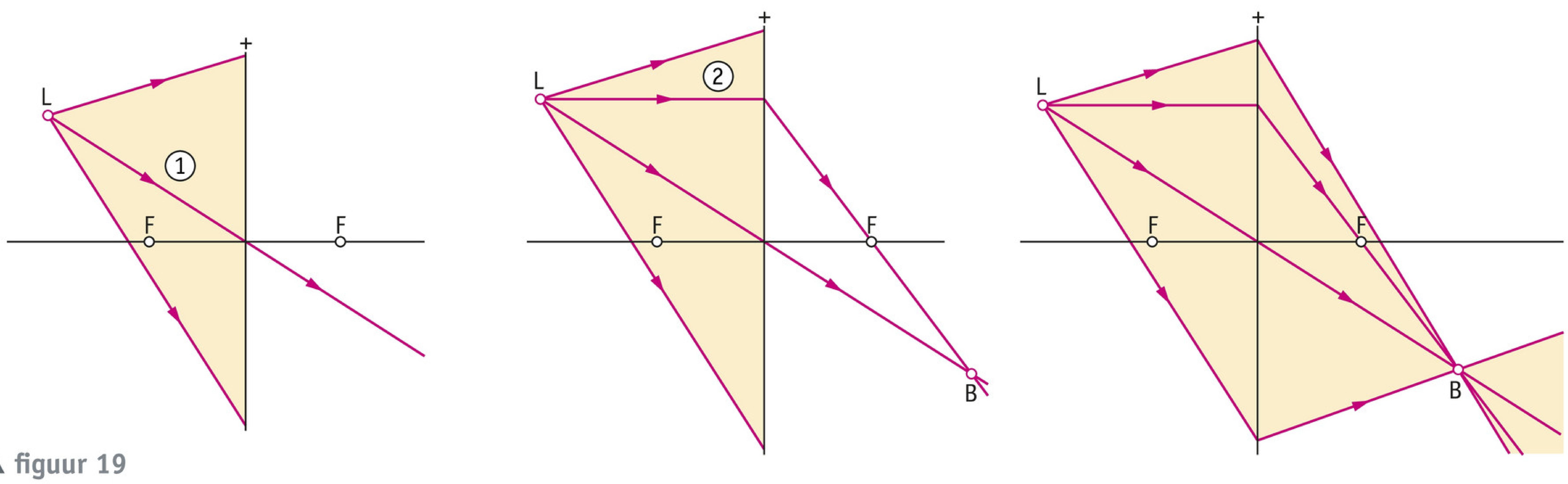
Als de beeldchip op de juiste afstand van de lens staat, krijg je een scherpe foto (figuur 18). Zo'n foto bestaat uit beeldpunten die elkaar niet overlappen. Als de chip niet op de juiste afstand staat, krijg je een foto die onscherp is. Zo'n foto bestaat uit kleine cirkeltjes die elkaar gedeeltelijk overlappen, zodat de grenzen tussen de kleurvlakken vaag worden.

## Constructiestralen

Met een tekening op schaal kun je erachter komen, waar het beeld achter de lens ontstaat. Dat heet het beeld **construeren**. Je maakt daarbij gebruik van twee speciale lichtstralen. Van deze **constructiestralen** weet je precies hoe ze lopen:

- Constructiestraal 1 gaat door het midden van de lens en verandert daarbij niet van richting.
- Constructiestraal 2 loopt vóór de lens evenwijdig aan de hoofdas. Na de lens gaat deze lichtstraal door het brandpunt F van de lens.

In figuur 19 zie je hoe een lichtbundel vanuit een lampje L op een lens valt. Je kunt het beeldpunt B vinden door de twee constructiestralen te tekenen. Alle lichtstralen die vanuit L op de lens vallen, worden naar dit punt toe gebroken. Je kunt nu dus ook tekenen hoe andere lichtstralen van het lampje naar dat punt toe worden gebroken.



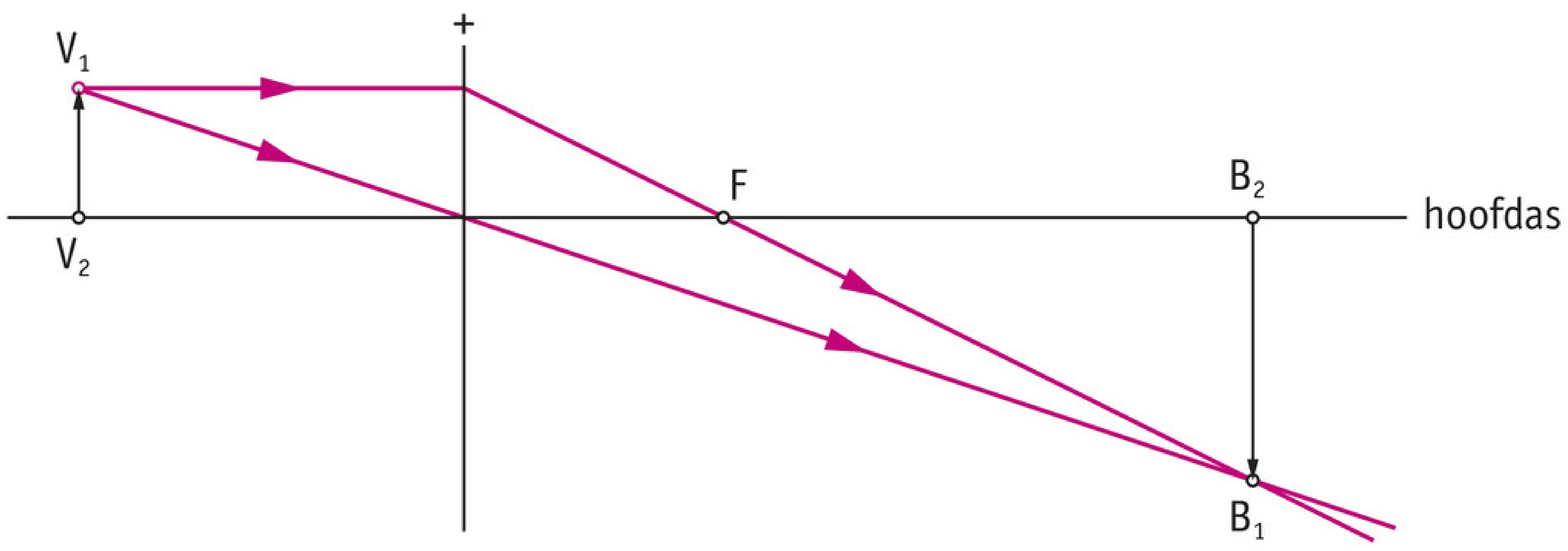

▲ **figuur 19**
Zo construeer je het beeld van een lampje.

## De plaats van het beeld tekenen

In figuur 20 is getekend hoe je het beeld van een voorwerp construeert:

1. Teken de lens en de hoofdas. Teken het brandpunt op de juiste afstand van de lens en zet er de letter F bij.
2. Teken het voorwerp als een pijl $V_1V_2$ op de juiste afstand voor de lens. $V_2$ ligt op de hoofdas, $V_1$ daarboven.
3. Teken de twee constructiestralen vanuit $V_1$. Teken het beeldpunt $B_1$ waar de lichtstralen samenkomen.
4. Teken het beeld als een pijl $B_1B_2$. $B_2$ ligt op de hoofdas, $B_1$ daaronder. Het beeld staat dus (vergeleken met het voorwerp) ondersteboven.

Soms is het voorwerp groter dan de lens. In dat geval mag je in de tekening de lens naar boven en onder verlengen. Daarna kun je weer constructiestralen gebruiken om de plaats van het beeld te vinden.




▶ **figuur 20**
Zo teken je de plaats van het beeld.

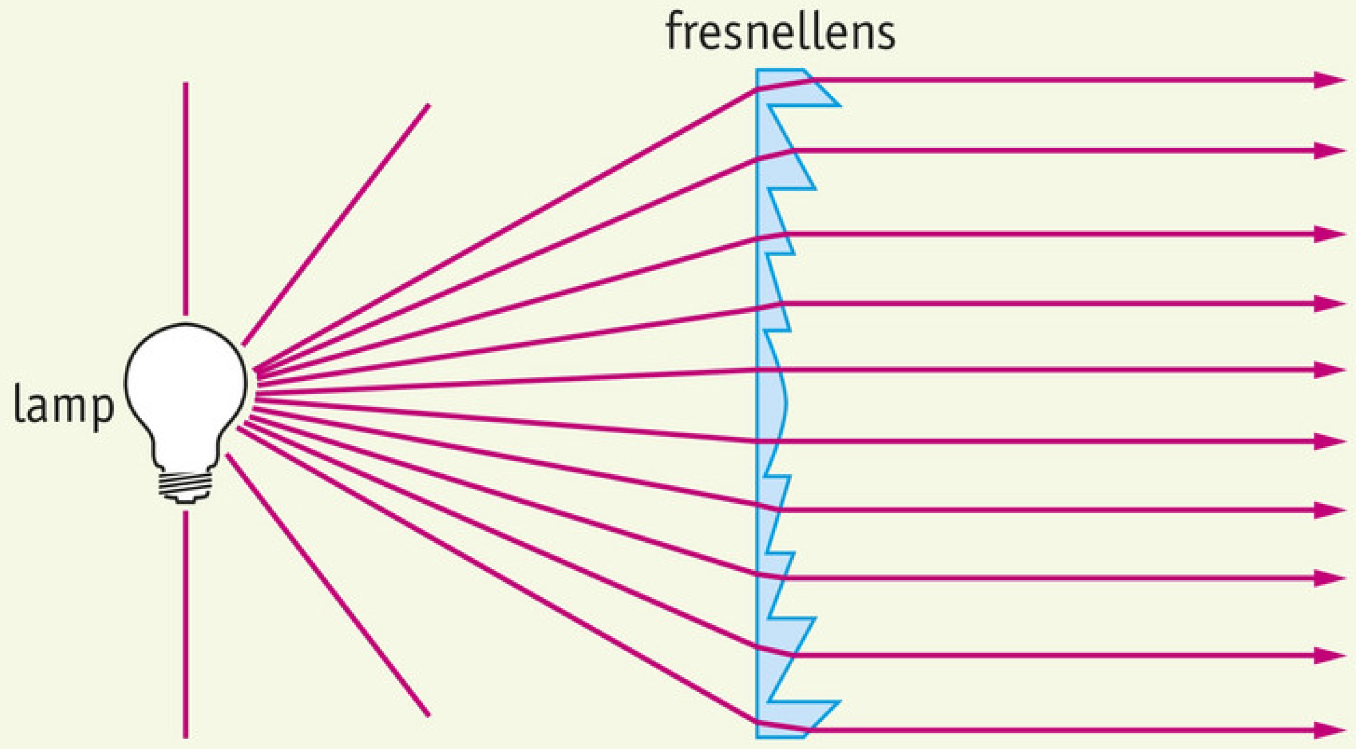
## Plus Fresnellenzen

In een vuurtoren wordt een grote positieve lens gebruikt om het licht van een grote felle lamp te bundelen. Zo'n lens wordt niet uit één stuk glas geslepen, want dan zou hij veel te zwaar worden. In plaats daarvan wordt een lens gebruikt die is opgebouwd uit ringen van glas (figuur 21). Elke ring is een stukje van een positieve lens. Zo'n uit ringen opgebouwde lens heet een fresnellens.



▲ **figuur 21**
de fresnellens in een vuurtoren

Fresnellenzen breken het licht vrijwel net zo als een gewone lens. Mooie beelden kun je er niet mee maken, maar ze zijn wel heel geschikt om licht te bundelen (figuur 22). Ze worden veel voor dat doel gebruikt, omdat ze veel dunner en lichter zijn dan gewone lenzen. Je komt ze bijvoorbeeld tegen in de achterlichten van auto's en als condensorlenzen in beamers.




▶ **figuur 22**
Zo breekt een fresnellens het licht.

opgaven

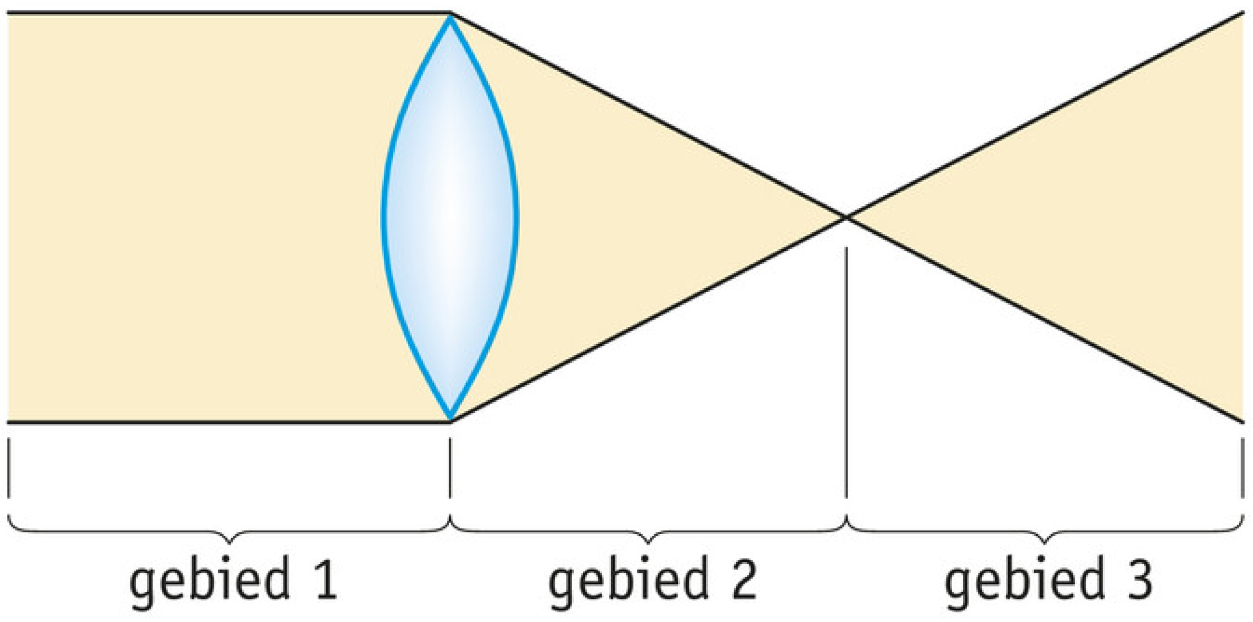
## Leerstof

**12** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waaraan kun je zien of een lens (zoals een brillenglas) positief of negatief is?
- **b** Hoe wordt een evenwijdige bundel zonlicht gebroken door een positieve lens?
- **c** Wat doet de lens in je camera met licht dat uit één punt van het voorwerp komt?
- **d** Wat is er bij het nemen van een foto fout gegaan, als het resultaat onscherp is?

**13** Er bestaan drie soorten lichtbundels.
- **a** Maak een schets van elk soort bundel in je schrift.
- **b** Schrijf erbij hoe dit soort bundel genoemd wordt.

## Toepassing

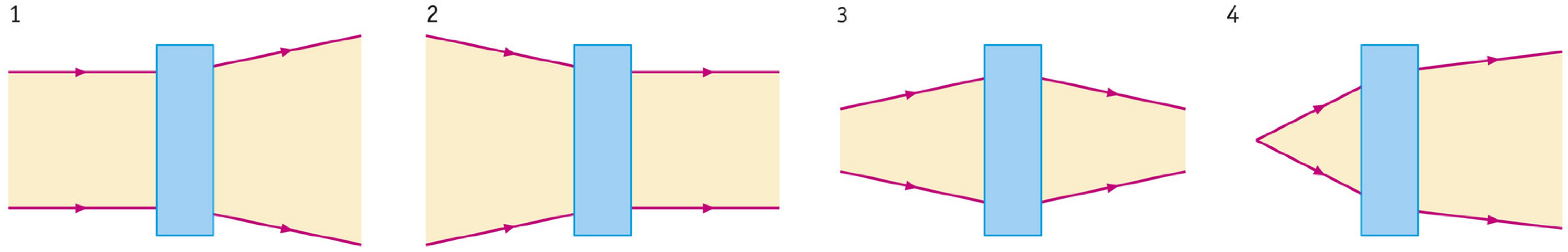
**14** Joyce wil een stukje papier aansteken met behulp van een brillenglas. Ze houdt het brillenglas in de zon.
- **a** Wat zal Joyce zien:
  - als het brillenglas positief is?
  - als het brillenglas negatief is?
- **b** Moet het brillenglas dus positief of negatief zijn?
- **c** Wat moet Joyce doen om het papier in brand te steken?




▲ figuur 23
een lichtbundel door een lens

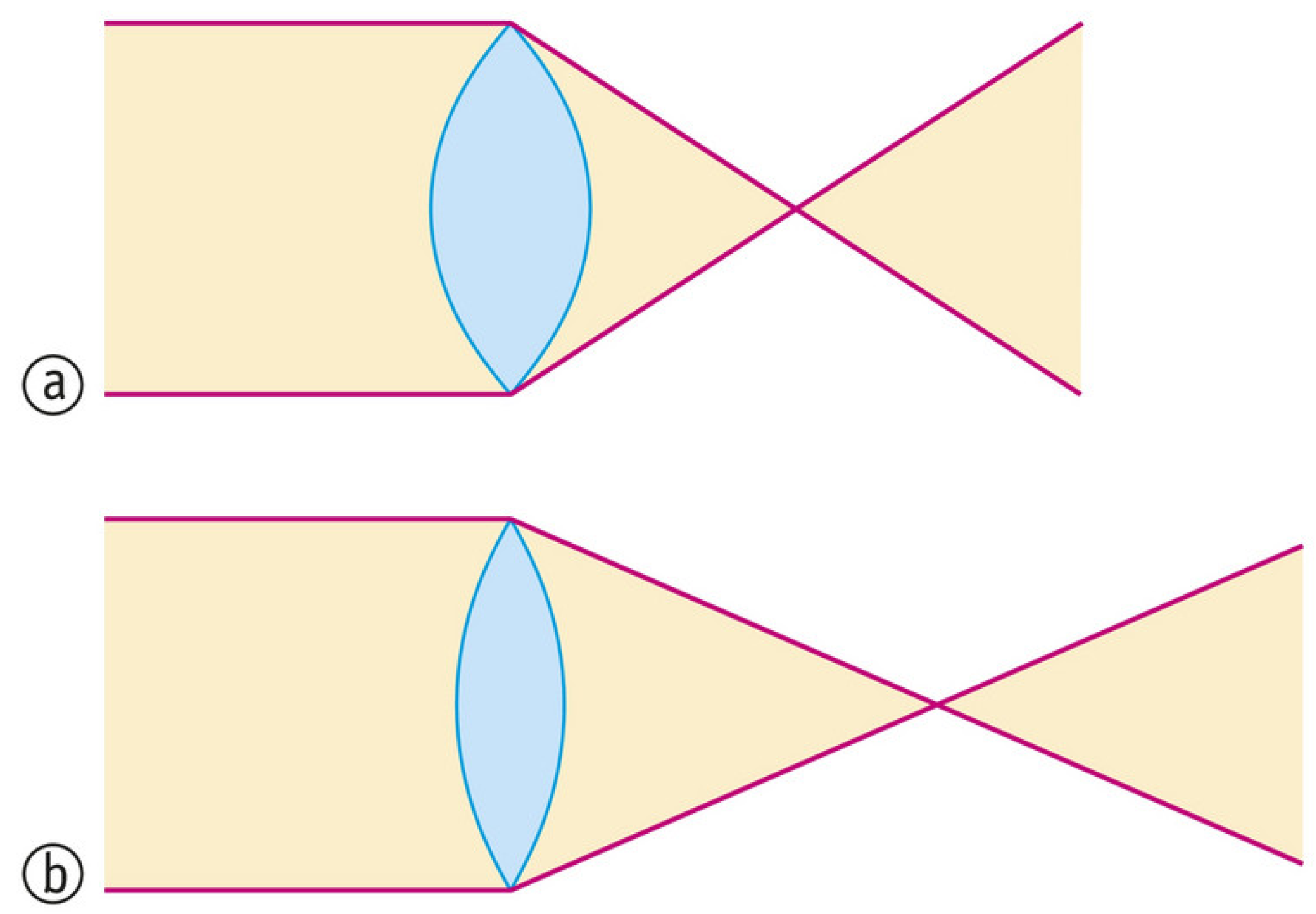
**15** Neem aan dat het licht in figuur 23 van links komt.
- **a** Wat voor lichtbundel is er:
  - in gebied 1?
  - in gebied 2?
  - in gebied 3?
- **b** Beantwoord dezelfde vragen nog eens, maar nu voor het geval het licht van rechts komt.

**16** In elk van de vier doosjes in de tekening van figuur 24 zit een lens. Geef van elk doosje aan:
- **a** of er een positieve of een negatieve lens in zit.
- **b** waaraan je kunt zien om wat voor lens het gaat.




▲ figuur 24
Welke lens zit in elk doosje?

**17** In figuur 25 zijn twee lenzen in doorsnede getekend.
- **a** Welke van beide lenzen is het sterkst?
- **b** Hoe groot is de brandpuntsafstand van elke lens?



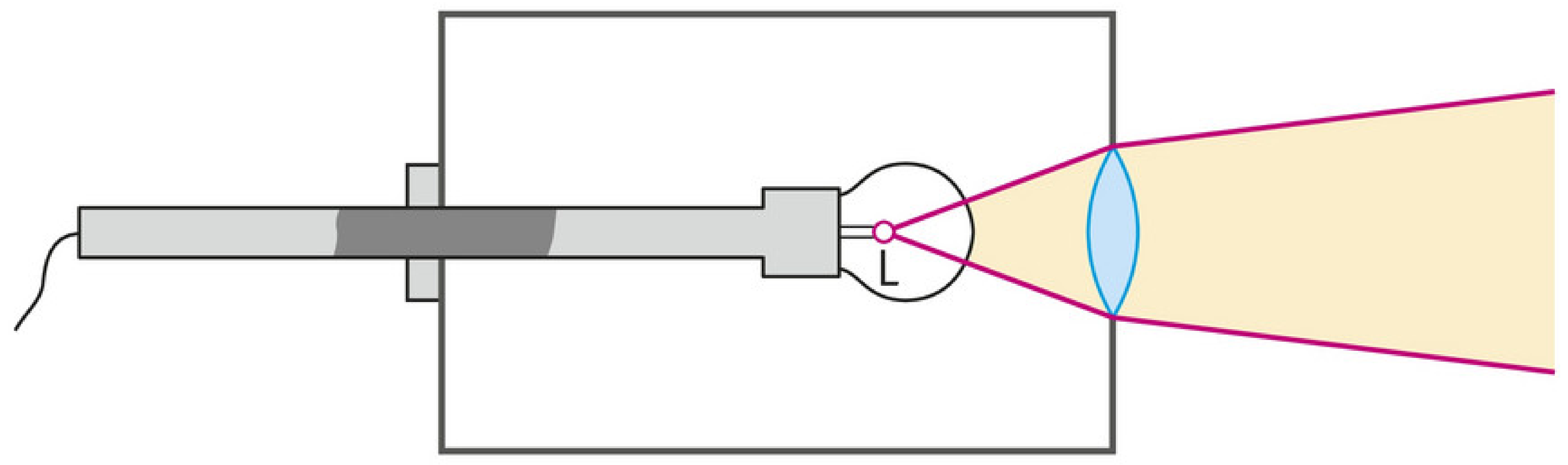

▶ **figuur 25**
sterk en sterker

**18** Bij deze opgave heb je werkblad 3-5 nodig.
Voor een lens staat een lampje. Je ziet hoe vier lichtstralen op de lens vallen.
- **a** Welke twee lichtstralen op het werkblad zijn constructiestralen?
- **b** Teken hoe de constructiestralen na de lens verder lopen.
- **c** Teken hoe de andere twee lichtstralen gebroken worden.

**19** Bij deze opgave heb je werkblad 3-6 nodig.
Abdul heeft een dia voor in een lichtkastje geschoven. Op de dia is een pijl te zien. Abdul zet het lichtkastje steeds dichter bij een positieve lens.
- **a** Construeer (teken) de plaats van het beeld $B_1B_2$ in elk van de drie tekeningen.
- **b** Hoe verandert het beeld als de dia naar de lens toe wordt geschoven?

**20** Bij deze opgave heb je werkblad 3-7 nodig.
Vanuit een voorwerp $V_1V_2$ vallen er twee lichtstralen op een positieve lens.
Teken op het werkblad hoe de lichtstralen door de lens gebroken worden.

***21** Tijdens een natuurkundepracticum werkt Livia met een lichtkastje (figuur 26). In het kastje zit een positieve lens met een brandpuntsafstand van 8,0 cm.
- **a** Wat voor soort lichtbundel komt uit het lichtkastje?
- **b** Livia wil dat er een evenwijdige bundel uit het lichtkastje komt. Hiervoor verschuift ze de lamp.
  Leg uit of ze de lamp naar links of naar rechts moet verschuiven.
- **c** Tot op welke afstand van de lens moet zij de lamp verschuiven?




▶ **figuur 26**
een lichtkastje voor een natuurkundeproef

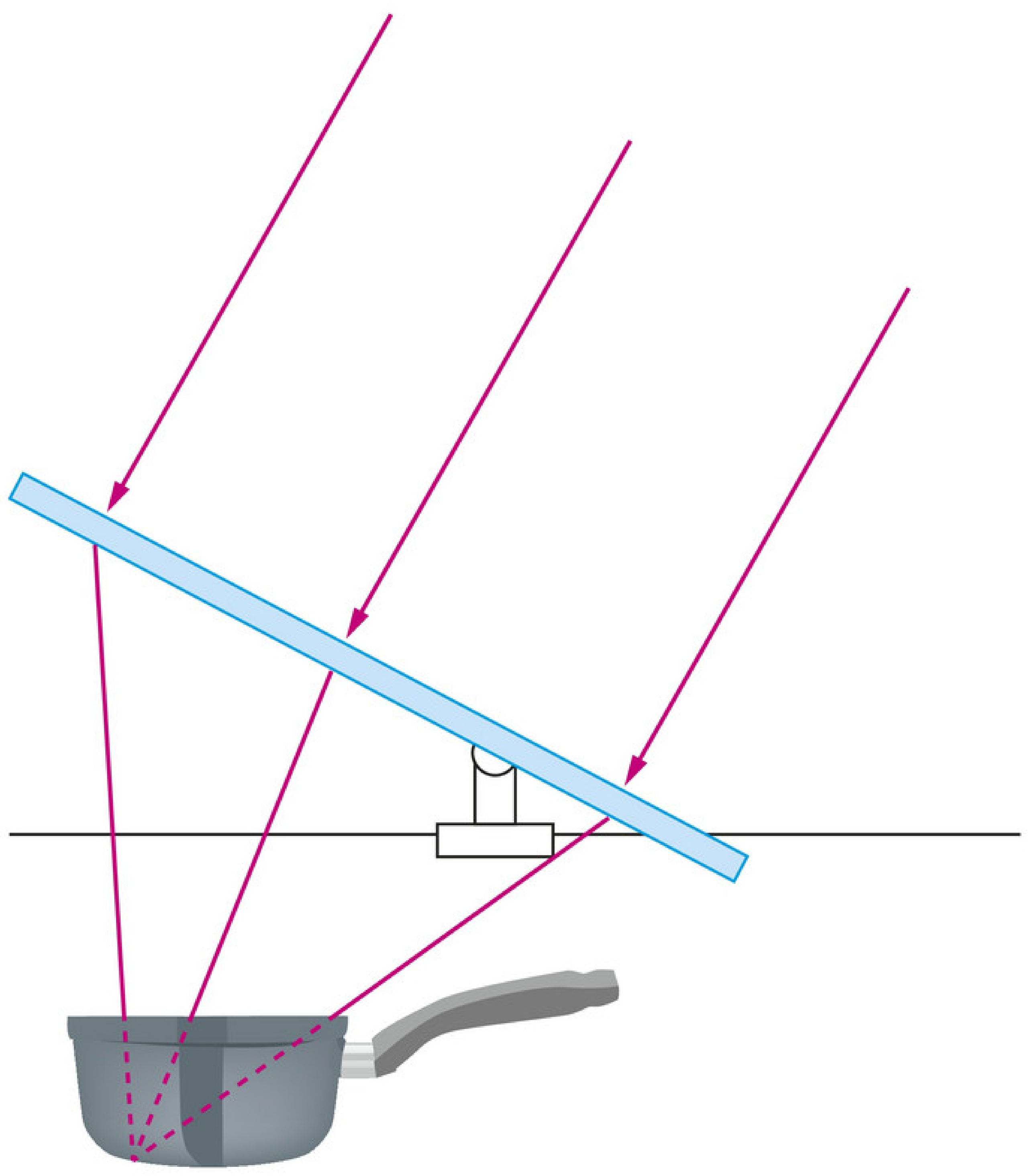
## Plus Fresnellenzen

**22** Fresnellenzen hebben diverse toepassingen. Deze lenzen worden bijvoorbeeld ook gebruikt om water te verwarmen met zonlicht (figuur 27).

**a** Leg uit of de fresnellens in figuur 27 een positieve of negatieve lens is.

**b** Hoe wordt het punt in de figuur genoemd waar de lichtstralen samenkomen?

**c** Met een grote fresnellens kun je water sneller verwarmen dan met een vergrootglas (brandglas).
Leg uit hoe dat komt.



▶ **figuur 27**
water koken met een grote fresnellens

**23** In figuur 28 is gefotografeerd wat je ziet als je door een positieve en een negatieve fresnellens kijkt.
Beredeneer welke van de twee lenzen de positieve lens is.



▶ **figuur 28**
twee verschillende fresnellenzen

# 3 Camera's en projectoren

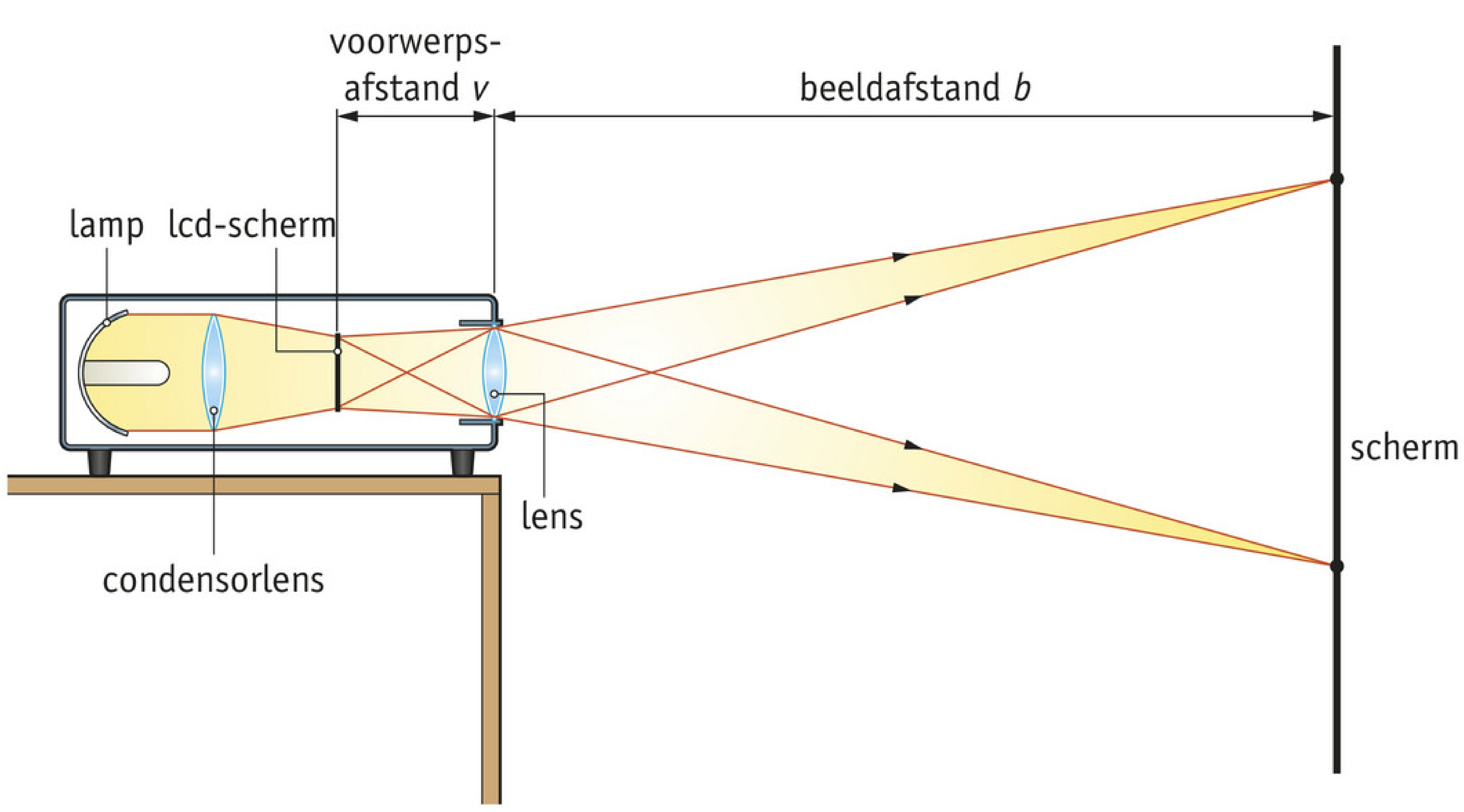
**Met een camera kun je beelden vastleggen. Met een beamer kun je de vastgelegde beelden vergroot projecteren. Bij beide apparaten is het belangrijk dat je goed scherpstelt, zodat er geen details verloren gaan.**

## Scherpstellen

De werking van een beamer lijkt op die van een camera. Ze hebben allebei een positieve lens die een voorwerp afbeeldt op een scherm. Bij een camera is het voorwerp de scène die je fotografeert. Bij een lcd-beamer is dat voorwerp een lcd (een *liquid cristal display*) met een foto of een filmopname. (Er zijn ook soorten beamers die geen lcd hebben, maar een ander 'voorwerp'. Voor de manier van projecteren maakt dat verder niet uit.)

Voordat je een goede foto kunt maken, moet het beeld eerst scherp gesteld worden. Bij een camera gebeurt dat door de afstand tussen de lens en de beeldchip te verstellen. Moderne camera's doen dat automatisch: een motortje beweegt de lens naar voren of naar achteren, totdat het beeld haarscherp is. Sommige camera's kun je ook met de hand scherp stellen. Dat kan handig zijn als je een bijzondere foto wilt maken.

Ook bij een beamer is het nodig om het beeld scherp te stellen. Het scherm moet op de plaats staan waar de lichtstralen vanuit één punt van het lcd-scherm weer in één punt samenkomen. Dat zorgt ervoor dat elke pixel van het lcd-scherm ook als een punt wordt weergegeven (figuur 29). In de praktijk laat je het scherm staan en verander je de afstand tussen het lcd-scherm en de lens totdat het beeld op het scherm scherp is.




▶ **figuur 29**
de stralengang door een beamer

## De lenzenformule Proef 5

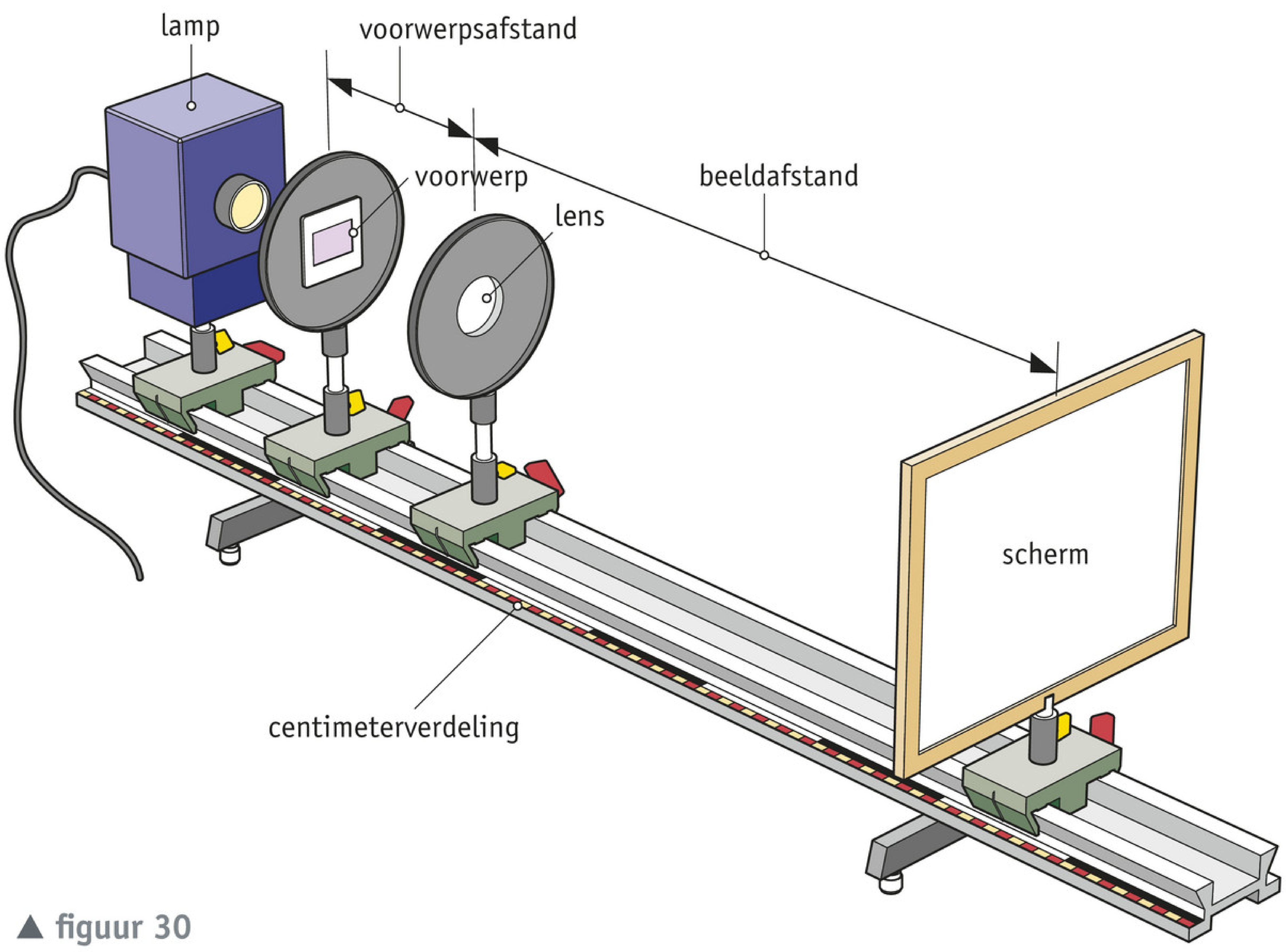
Bij het scherp stellen van een camera of een beamer zijn twee afstanden van belang:

1. de afstand tussen de lens en het voorwerp; dit is de **voorwerpsafstand** *v*;
2. de afstand tussen de lens en het scherpe beeld; dit is de **beeldafstand** *b*.

Bij elke voorwerpsafstand hoort één beeldafstand. Alleen op die afstand kun je een scherp beeld opvangen.

Je kunt het verband tussen *b*, *v* en *f* onderzoeken met de opstelling van figuur 30. De lens maakt een scherp beeld van het voorwerp op het scherm. Uit dergelijke proeven blijkt dat voor *b*, *v* en *f* de **lenzenformule** geldt:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$$




▲ **figuur 30**
de opstelling voor het afleiden van de lenzenformule

***Voorbeeldopgave 1***
Gilles wil een film afspelen op een beamer. Als scherm gebruikt hij een witte muur. De projectielens van de beamer heeft een brandpuntsafstand van 15,0 cm. De afstand tussen de lens en de muur is 435 cm. Bereken hoe groot Gilles de afstand tussen lcd-scherm en projectielens moet maken.

gegevens $f = 15{,}0$ cm
$b = 435$ cm

gevraagd $v = ?$

uitwerking
1 Formule opschrijven: $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$

2 Formule invullen: $\frac{1}{15{,}0} = \frac{1}{v} + \frac{1}{435}$

3 Naar de andere kant brengen: $\frac{1}{v} = \frac{1}{15{,}0} - \frac{1}{435}$

4 Breuken uitrekenen: $\frac{1}{v} = 0{,}0689..$

5 Omkeren: $v = 1 : 0{,}0689.. = 14{,}5$ cm



▲ **figuur 31**
een sterk vergroot beeld

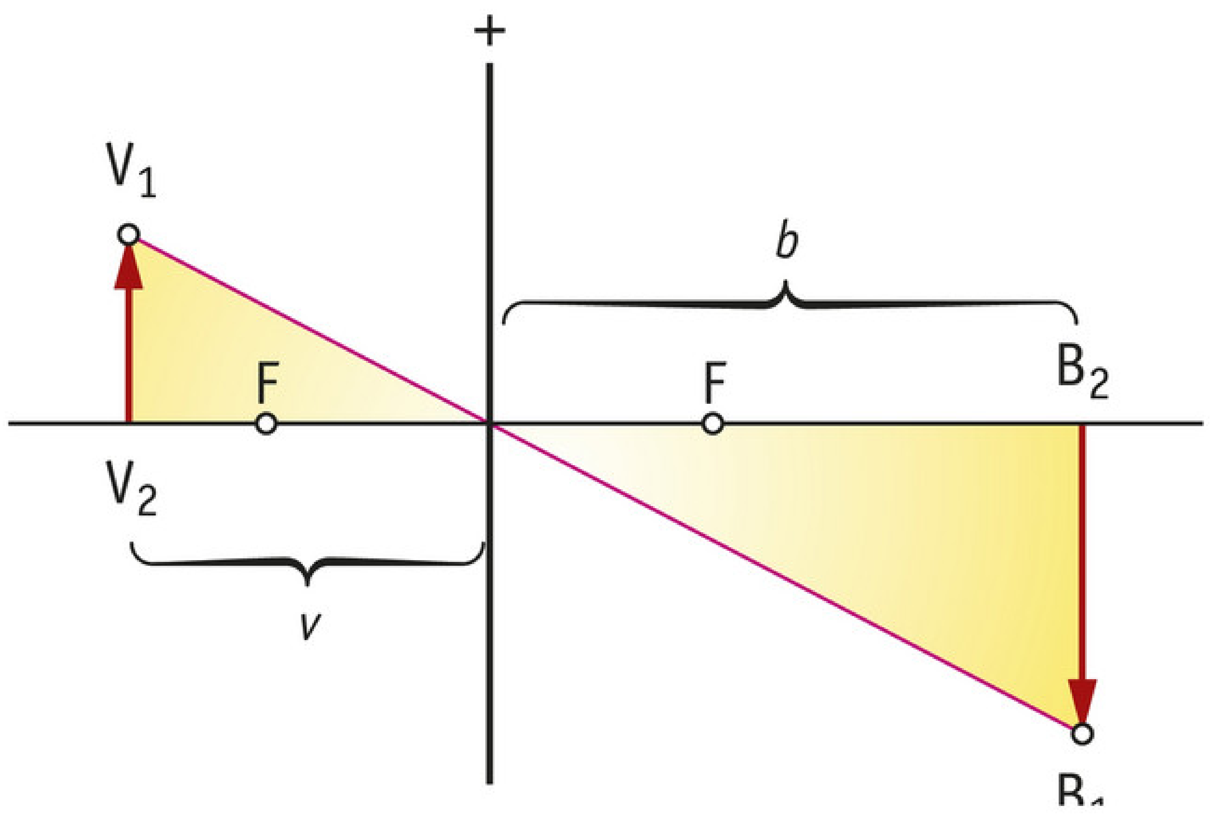
## De vergroting berekenen

Het beeld is meestal niet even groot als het voorwerp. Beelden kunnen sterk vergroot zijn en sterk verkleind en van alles daar tussenin (figuur 31). Als je de afmetingen van het voorwerp en van het beeld kent, kun je de **vergroting** *N* berekenen:

$$N = \frac{\text{lengte beeld}}{\text{lengte voorwerp}}$$

Als het beeld groter is dan het voorwerp, is *N* groter dan 1. Dat is bijvoorbeeld het geval bij een beamer: het beeld op het projectiescherm is veel groter dan de lcd in de beamer. Als de lcd 3,0 cm breed is en het beeld van de lcd op het projectiescherm 3,0 m breed, is de vergroting *N* gelijk aan 100.

Als je een foto maakt met een doorsneecamera, is het beeld op de beeldchip kleiner dan het voorwerp. In dat geval is $N$ kleiner dan 1. Als het voorwerp 1,80 m hoog is en het beeld van het voorwerp 1,8 cm hoog, dan is de vergroting $N$ gelijk aan 0,01. Zoals je ziet, gebruik je ook nu het woord ‘vergroting’ ook al is het beeld verkleind.




▲ **figuur 32**
Uit deze tekening kun je de formule voor de vergroting afleiden.

Uit figuur 32 kun je afleiden dat voor de vergroting ook geldt:

$$N = \frac{b}{v}$$

Deze formule gebruik je vaak in combinatie met de lenzenformule.

***Voorbeeldopgave 2***
Gilles speelt een film af op een beamer. Zie voor de gegevens voorbeeldopgave 1.
Bereken de vergroting.

gegevens $v = 14{,}5$ cm
$b = 435$ cm

gevraagd $N = ?$

uitwerking $N = \frac{b}{v} = \frac{435}{14{,}5} = 30{,}0\times$

## **Plus** De lenzentelescoop

Met een telescoop kun je veraf gelegen voorwerpen vergroot zien. Het instrument werd ruim 400 jaar geleden in Middelburg uitgevonden. Deze zogenoemde ‘Hollandse kijker’ bestond uit een buis met daarin twee lenzen. Enkele tientallen jaren later werd ook de spiegeltelescoop uitgevonden die met gekromde spiegels werkt.

Een lenzentelescoop heeft op zijn minst twee lenzen. De lens die zich het dichtst bij het voorwerp (het object) bevindt, wordt het **objectief** genoemd. Het **oculair**, de tweede lens, bevindt zich het dichtst bij de waarnemer. Het objectief is altijd groot, zodat het veel licht kan verzamelen. Dat is nodig om voorwerpen die ver weg staan en daardoor lichtzwak zijn, toch helder te kunnen zien.



◀ **figuur 33**
Een toerist bekijkt het landschap met een telescoop.

Voorwerpen zien er groter uit als je ze door een telescoop bekijkt (in plaats van met het blote oog). Hoe sterk een voorwerp wordt vergroot, kun je zien aan de vergroting van de telescoop. Een telescoop met een vergroting van 20 maakt een voorwerp schijnbaar 20× zo groot. De vergroting *N* kun je bij een telescoop berekenen met de formule:

$$N = \frac{f_{obj}}{f_{ocu}}$$

Zoals je ziet, hangt de vergroting af van de brandpuntsafstanden van de twee lenzen.

**opgaven**

## Leerstof

**24** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Hoe wordt het beeld scherp gesteld in een camera, als je een foto neemt?
**b** Hoe luidt de lenzenformule? Wat betekenen de drie letters $b$, $f$ en $v$?
**c** Hoe kun je de vergroting berekenen, als je weet hoe groot $b$ en $v$ zijn?
**d** Wat kun je over het beeld zeggen als de vergroting $N$ kleiner is dan 1?

**25** Bij deze opgave heb je werkblad 3-8 nodig.
Het licht van een lampje valt op een positieve lens.

**a** Zet een L bij het punt waar het lampje staat.
**b** Zet een B bij het beeldpunt van het lampje.
**c** Teken de hoofdas van de lens.
**d** Meet en noteer de voorwerpsafstand.
**e** Meet en noteer de beeldafstand.

## Toepassing

**26** Michiel gebruikt een positieve lens ($f$ = 8 cm) om een lampje af te beelden op een scherm. Hij schuift het lampje daarbij steeds dichter naar de lens toe.
Bereken waar Michiel het scherm neer moet zetten om een scherp beeld op te vangen:

**a** als het lampje 18 cm voor de lens staat.
**b** als het lampje 15 cm voor de lens staat.
**c** als het lampje 12 cm voor de lens staat.
**d** als het lampje 9 cm voor de lens staat.

**27** Vervolg van opgave 26.
Michiel zet het lampje daarna 8 cm voor de lens, in het brandpunt.

**a** Wat gaat er fout, als je de beeldafstand probeert te berekenen?
**b** Wat voor lichtbundel ontstaat er achter de lens, als $v = f$?

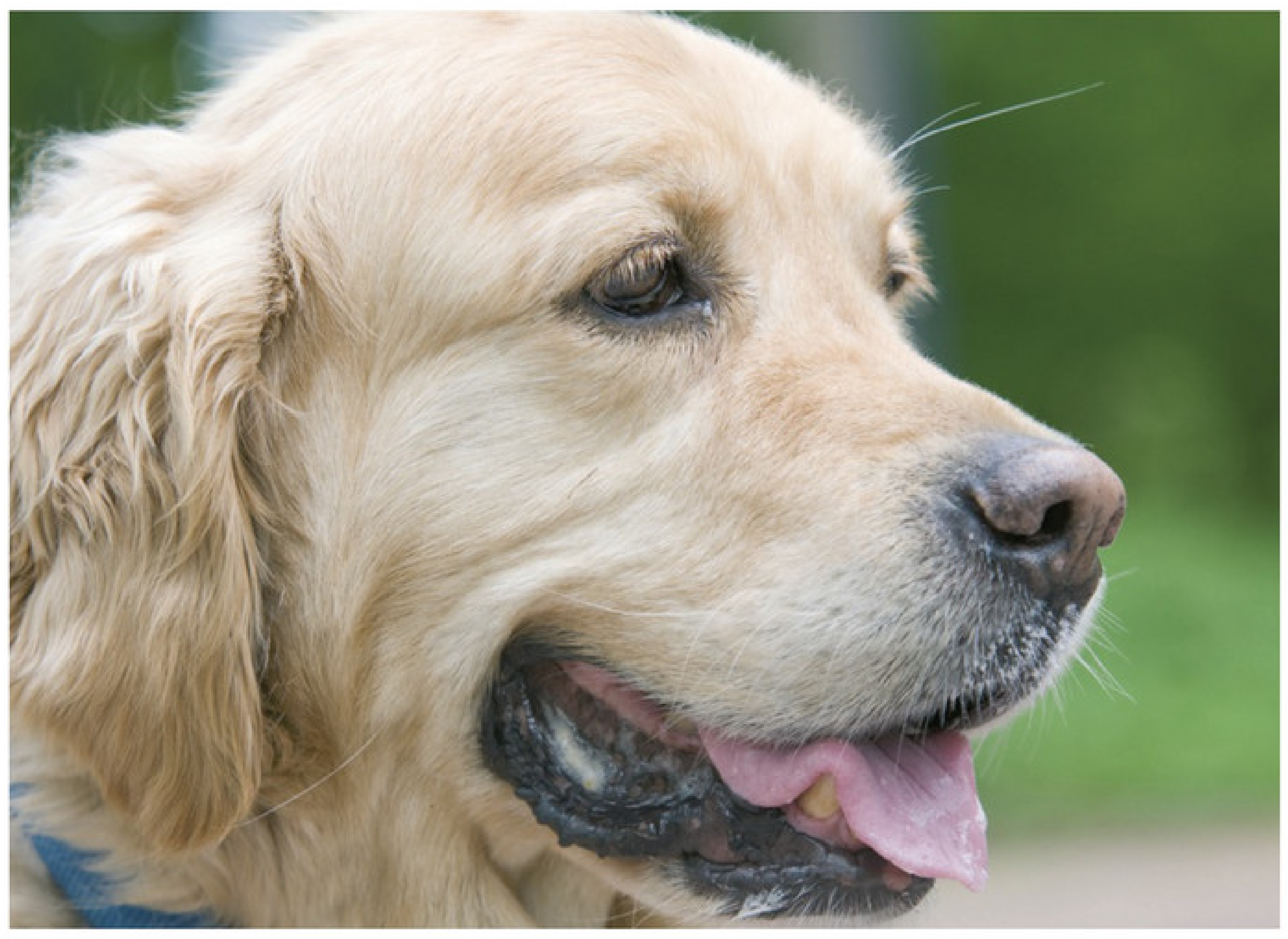
**28** Karen houdt van fotograferen. In figuur 34 zie je vier van haar foto's. Onder elke foto is de voorwerpsafstand aangegeven. De lens in haar camera heeft een brandpuntsafstand van 50 mm.
Bereken bij elke waarde van $v$ de bijbehorende beeldafstand. Schrijf steeds de volledige berekening op.



$v$ = 100 m



$v$ = 3 m



$v$ = 50 cm



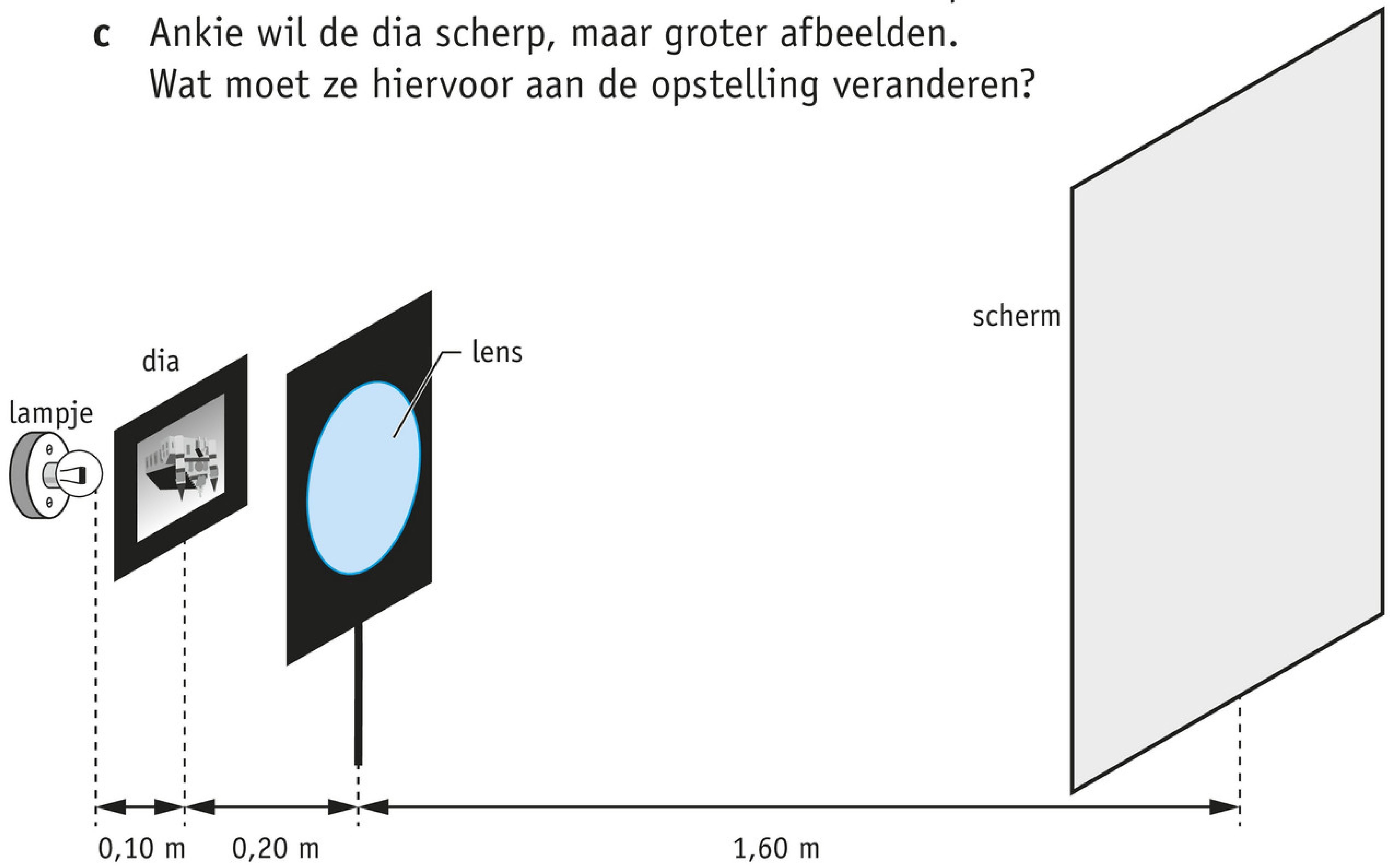
$v$ = 20 cm

▶ **figuur 34**
foto's maken

**29** Bij deze opgave heb je werkblad 3-9 nodig.
Een lens maakt een scherp beeld van een voorwerp $V_1V_2$.
- **a** Construeer het beeld van $V_1$.
- **b** Teken het beeld van $V_2$.
- **c** Geef aan waar je het projectiescherm neer moet zetten.
- **d** Bereken de vergroting.

***30** Desirée is 1,6 m lang. Ze staat rechtop op 4,0 m afstand voor een bewakingscamera. Op de beeldchip van de camera is Desirée 8,0 mm lang.
- **a** Bereken de vergroting.
- **b** Bereken de brandpuntsafstand van de cameralens.

**31** Ankie heeft de opstelling van figuur 35 gemaakt. In de situatie op de tekening wordt de dia scherp op het scherm afgebeeld.
- **a** Bereken de brandpuntsafstand van de lens met de gegevens in figuur 35.
- **b** De dia is 2,5 cm breed.
  Bereken de breedte van het beeld van de dia op het scherm.
- **c** Ankie wil de dia scherp, maar groter afbeelden.
  Wat moet ze hiervoor aan de opstelling veranderen?



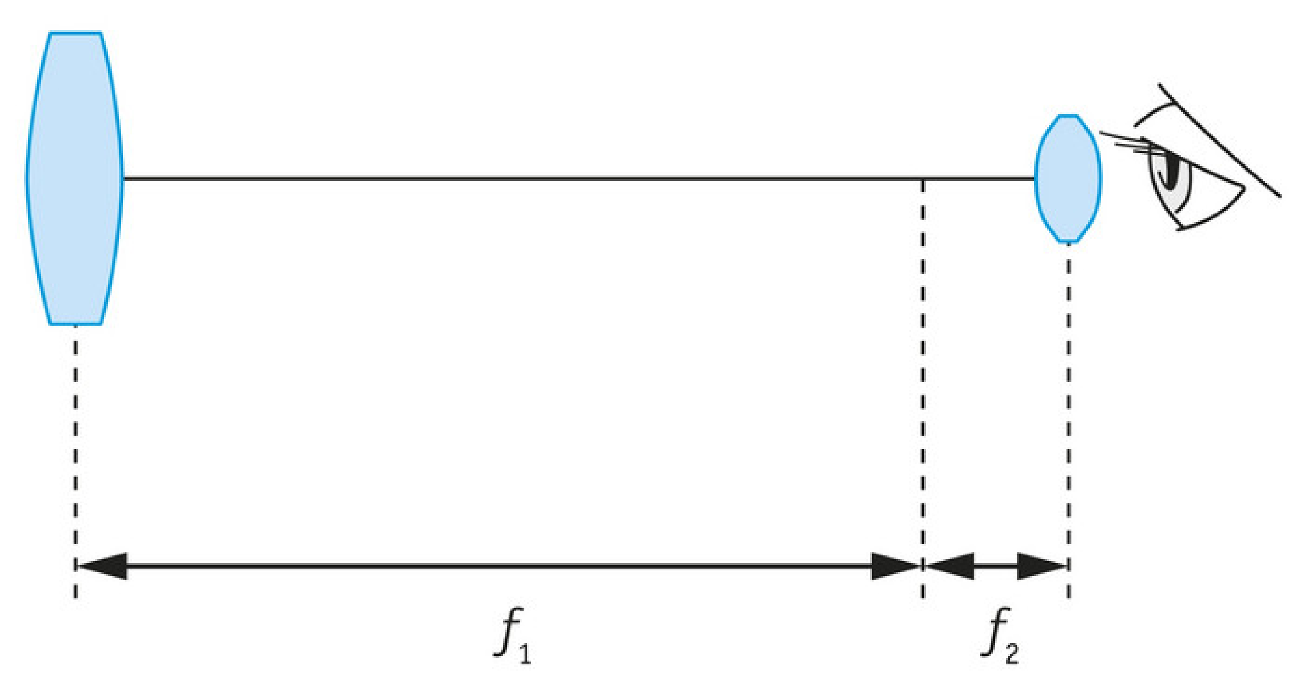

▶ **figuur 35**
een dia afbeelden

***32** Hanneke heeft een fotocamera waarvan de lens een brandpuntsafstand van 20 mm heeft. Ze fotografeert een kerktoren op een afstand van 50 m van de lens. Hanneke beweert dat je in dit geval de vergroting kunt berekenen met de formule $N = f/v$, omdat $v$ veel groter is dan $b$.
Laat zien dat Hanneke gelijk heeft.

## Plus De lenzentelescoop

**33** Evert en Carin bouwen een eenvoudige telescoop. Ze gebruiken twee positieve lenzen, de ene met $f$ = 4 cm en de andere met $f$ = 20 cm.
- **a** Leg uit welke lens ze als objectief moeten gebruiken.
- **b** Bereken de vergroting van hun telescoop.

**34** Vervolg van opgave 33.
Op een website over telescopen lezen Evert en Carin hoe groot de afstand tussen objectief en oculair moet zijn (figuur 36).
Bereken de minimale lengte van de telescoopbuis.




De positieve lenzen in een telescoop zijn zo afgesteld dat de brandpunten van het objectief en het oculair precies samenvallen.

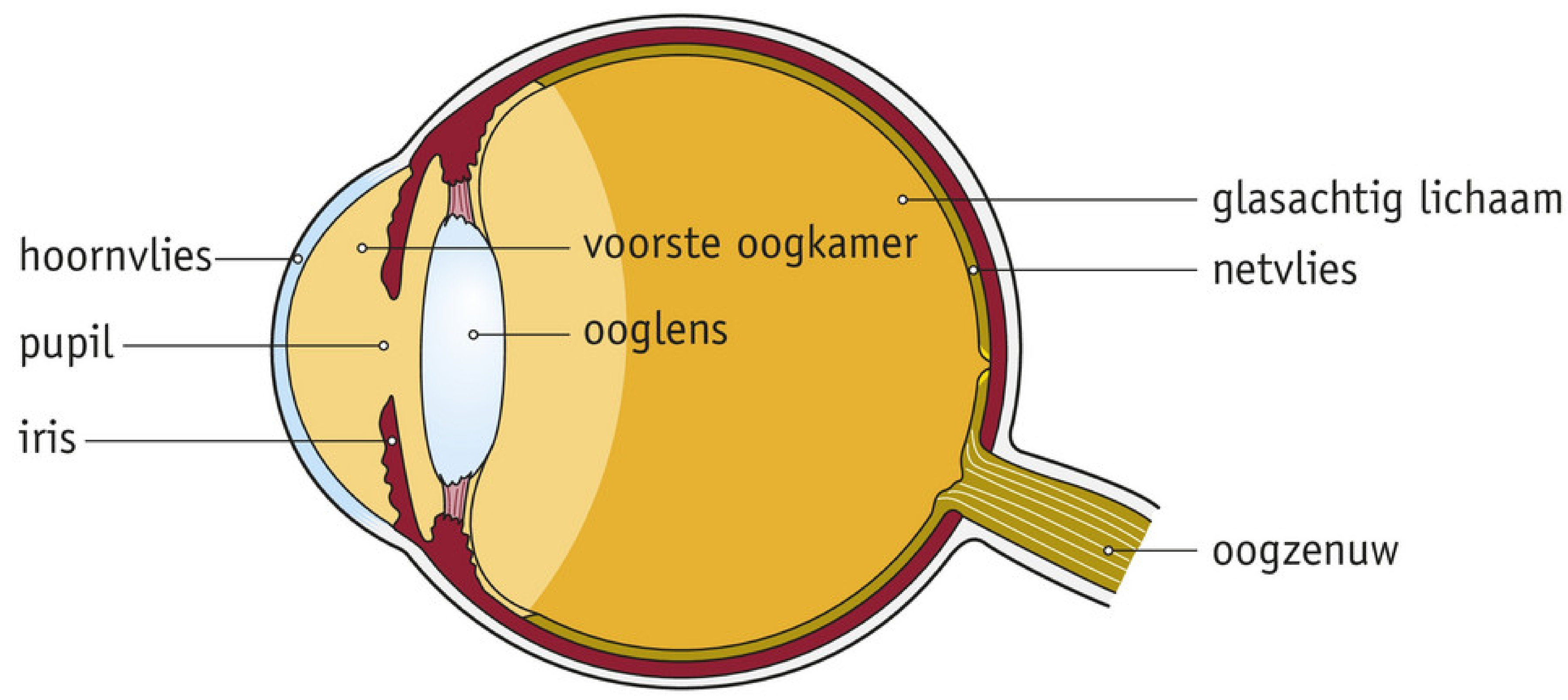
▶ **figuur 36**
de afstand tussen objectief en oculair in een telescoop

# 4 Oog en bril

**Om goed te kunnen zien, moet er genoeg licht zijn. Op het netvlies in je ogen ontstaat dan een beeld van de wereld om je heen. Als je goede ogen hebt, kun je dat beeld moeiteloos scherpstellen. Maar lukt dat niet, dan heb je een bril of contactlenzen nodig.**

## De bouw van je ogen

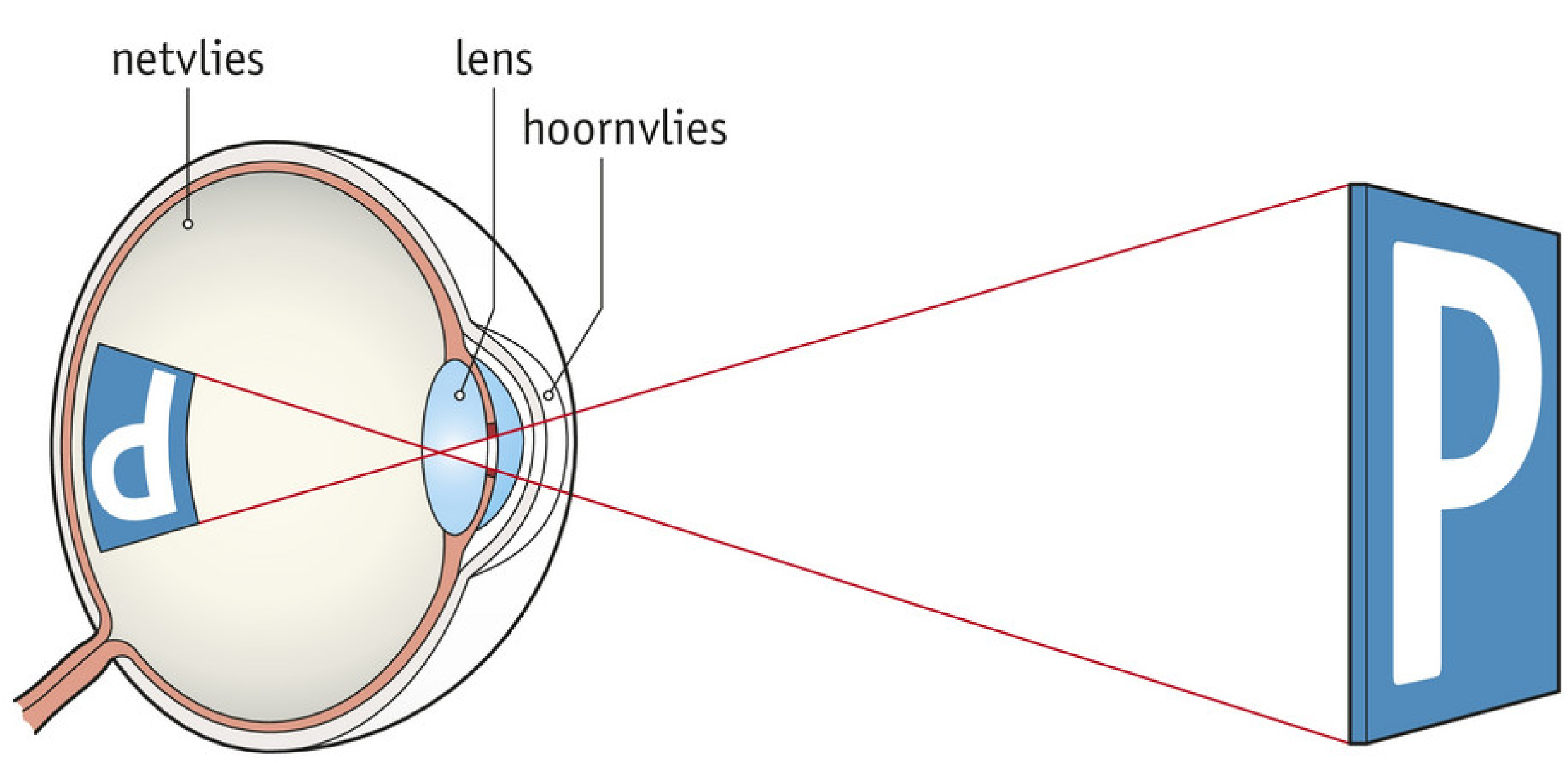
Je ziet de dingen om je heen doordat ze licht weerkaatsen naar je ogen (of doordat ze zelf licht geven). Het licht beweegt daarna door de doorzichtige delen van elk oog: het passeert het hoornvlies, de ooglens en het glasachtig lichaam. Ten slotte komt het licht op het netvlies terecht (figuur 37).




▶ **figuur 37**
een oog in doorsnede

De combinatie hoornvlies-ooglens-glasachtig lichaam heeft dezelfde uitwerking als een positieve lens: het licht wordt zo gebroken, dat er op het netvlies een scherp beeld ontstaat. Zoals je in figuur 38 kunt zien, staat het beeld op de kop en is het sterk verkleind.

Het **netvlies** bevat een groot aantal lichtgevoelige zintuigcellen. Deze cellen geven elektrische impulsen af, als er licht op valt. Deze impulsen worden door de oogzenuw doorgegeven aan de hersenen. Pas als je hersenen die impulsen ontvangen, zie je iets.



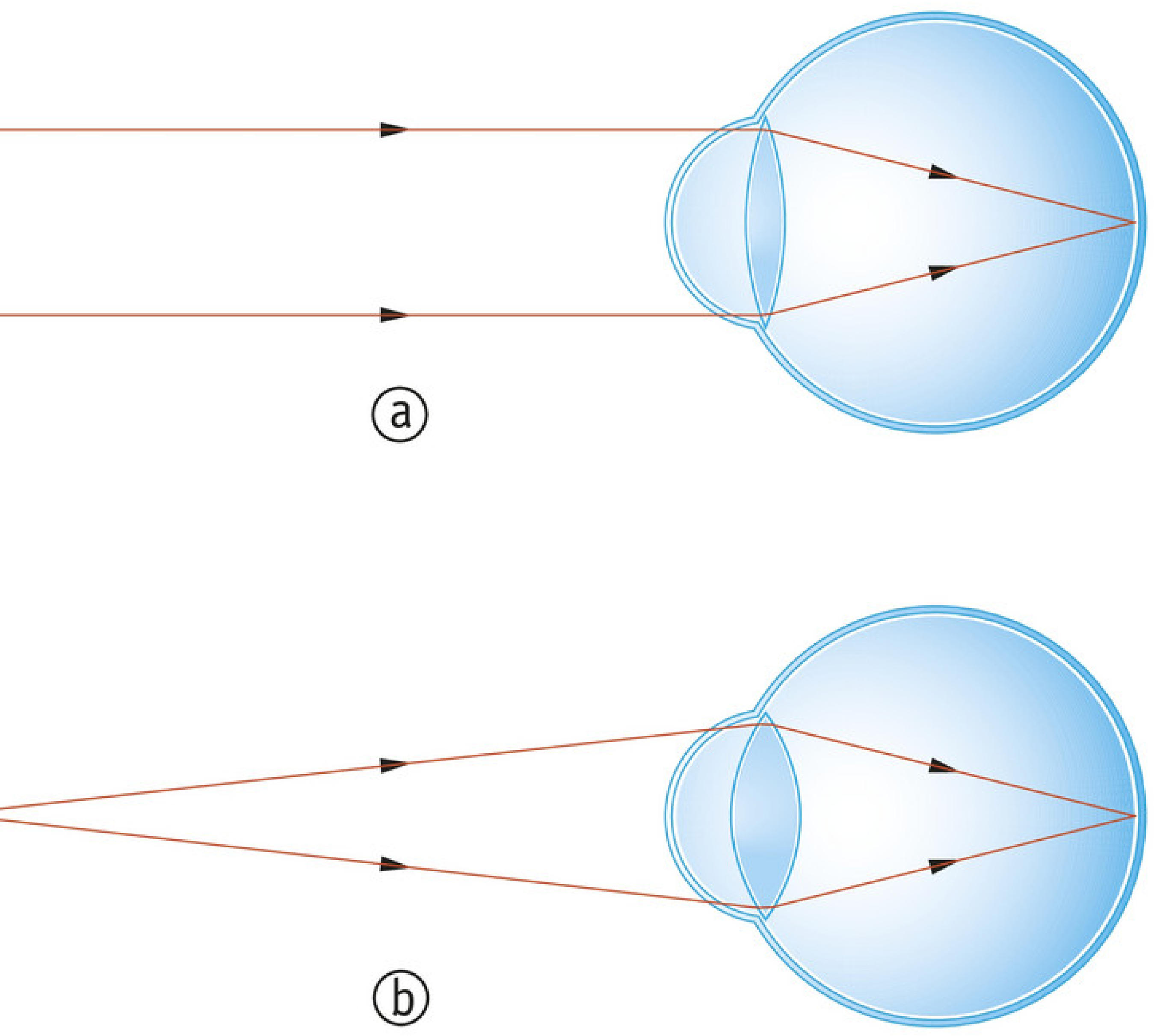

▶ **figuur 38**
de beeldvorming in het oog

De **pupil** is een opening in de **iris** (het gekleurde deel van je oog). In fel zonlicht is de iris breed en zijn je pupillen klein. Zo komt er niet te veel licht op je netvlies terecht. In het schemerdonker is de iris smal en zijn je pupillen groot. Het kleine beetje licht dat er nog is, wordt dan zo goed mogelijk benut.

## Accommoderen

De dingen om je heen staan niet allemaal op dezelfde afstand. De ene keer kijk je naar iets op een halve meter afstand, even later naar iets honderd meter verderop. Dat betekent dat je ogen, net als een camera of een beamer, moeten scherpstellen.

De afstand tussen de ooglens en het netvlies kan niet veranderd worden. Die is altijd even groot: ongeveer 17 mm. Dat betekent dat de beeldafstand *b* vastligt. Om scherp te stellen, passen je ogen hun brandpuntsafstand *f* aan. Dat gebeurt door een kring van spiertjes die rond de ooglens liggen. Deze spiertjes kunnen de ooglens platter en boller maken. Dat wordt het **accommoderen** van het oog genoemd.



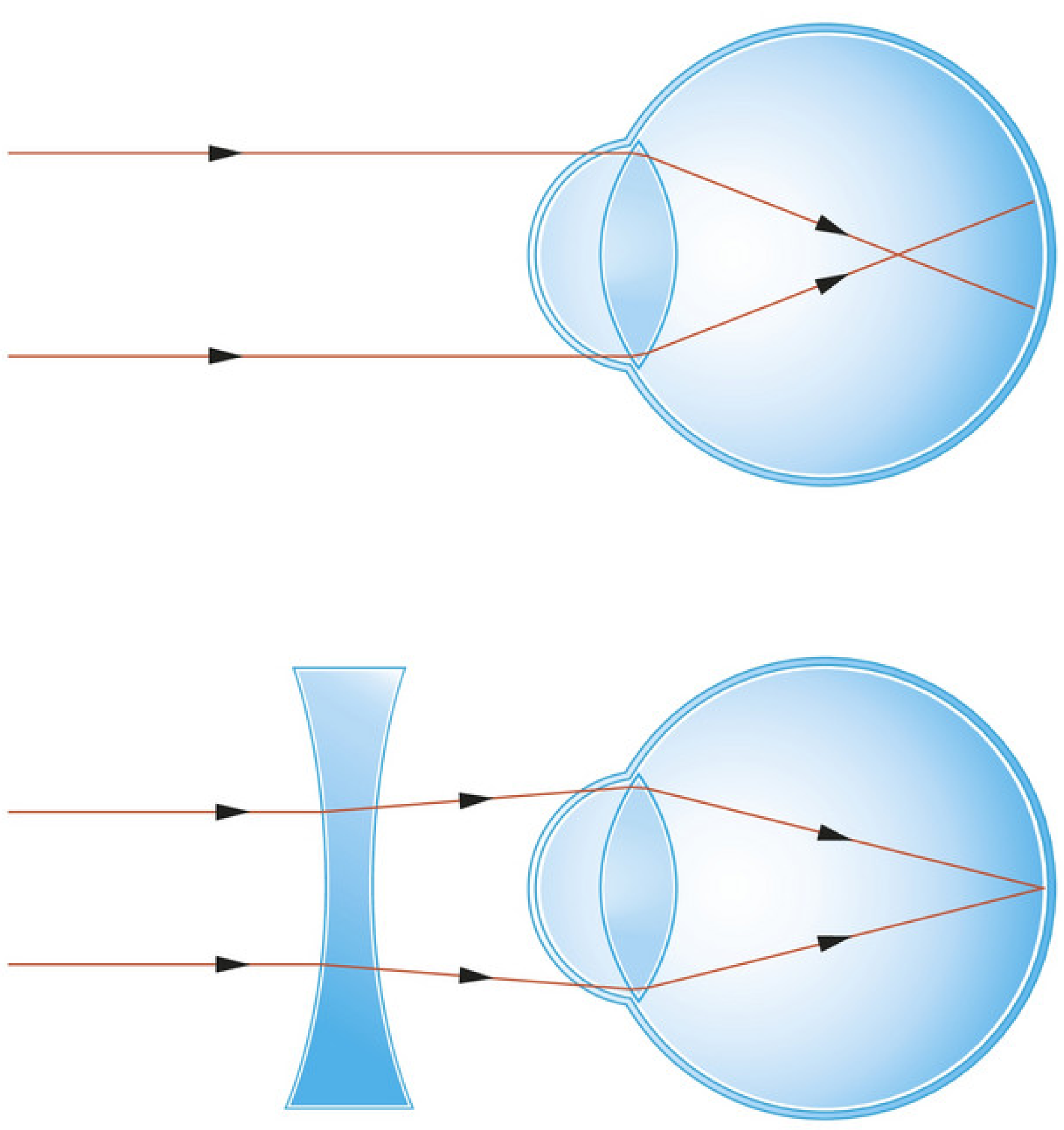

▲ figuur 39
kijken in de verte en kijken dichtbij

Als je naar een voorwerp in de verte kijkt, zijn de spiertjes ontspannen en is de ooglens vrij plat. De brandpuntsafstand is relatief groot. Het licht afkomstig van het voorwerp valt in deze situatie bijna evenwijdig op het oog. De lens hoeft daarom niet erg sterk te zijn om het voorwerp scherp af te beelden (figuur 39a).

Als je naar een voorwerp vlakbij kijkt, zoals het scherm van je telefoon, trekken de spiertjes rond de ooglens samen. De ooglens wordt daardoor boller en de brandpuntsafstand kleiner. Dat is nodig, omdat het licht dat in het oog valt, behoorlijk divergeert. De lens moet dan vrij sterk zijn om een scherp beeld op het netvlies te vormen (figuur 39b).

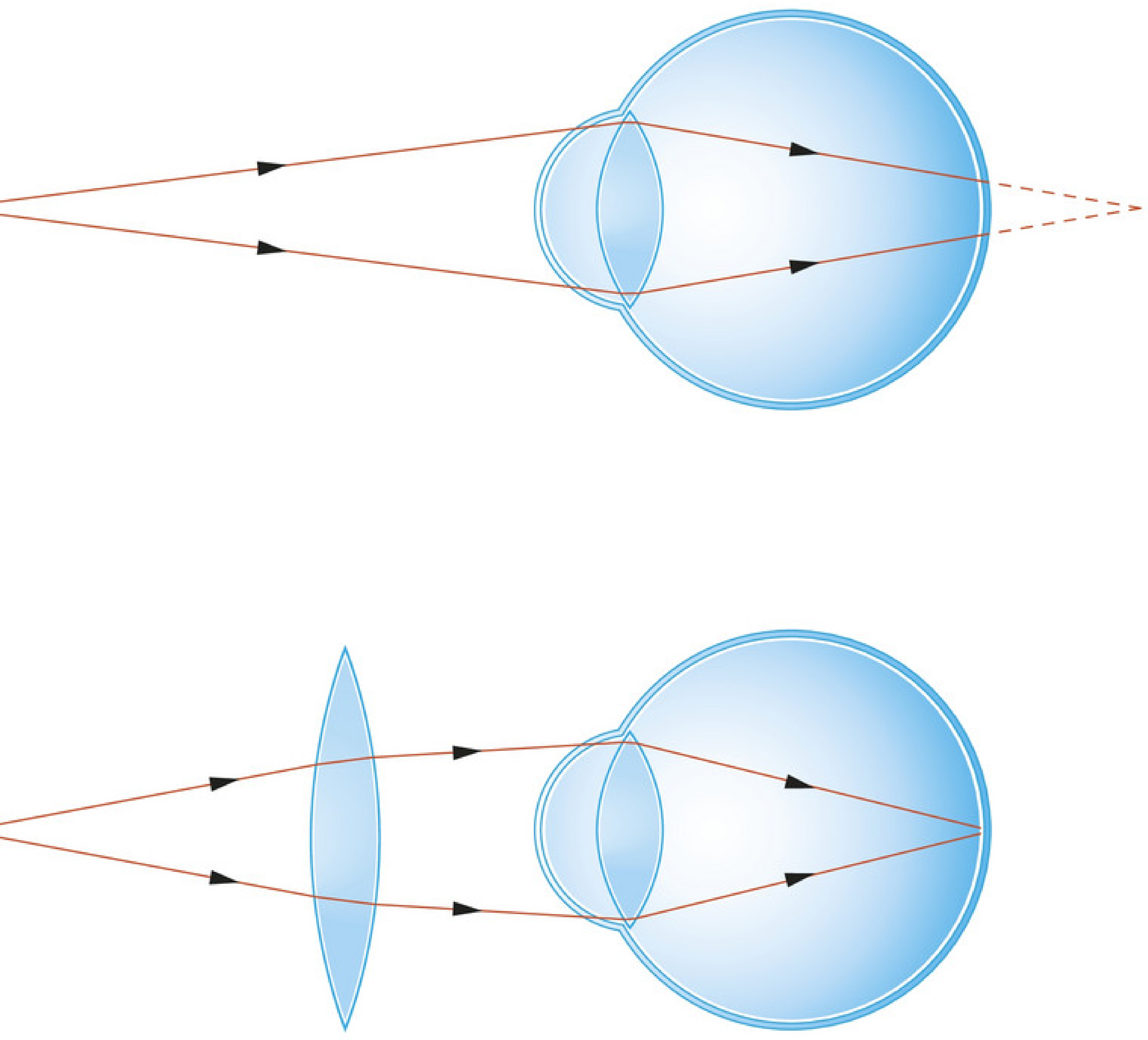
## Bijziend en verziend

Veel mensen zien de dingen om hen heen niet allemaal even scherp. Hun ogen breken het licht te sterk of juist niet sterk genoeg. Ze hebben een bril of contactlenzen nodig om dat probleem te corrigeren.



▲ figuur 40
Bijziend wordt gecorrigeerd met een negatieve lens.

Als je **bijziend** bent, zijn je ooglenzen te sterk of is je oogas te lang. Voorwerpen die ver weg zijn, kun je dan niet goed zien. In figuur 40 zie je hoe dat komt: de ooglens vormt het beeld van zo'n voorwerp niet óp, maar vóór het netvlies. Iemand die bijziend is, heeft negatieve brillenglazen of contactlenzen nodig. Die laten het licht dat op de ogen valt, een beetje divergeren. Het beeld vormt zich dan niet meer voor, maar op het netvlies.



▲ **figuur 41**
Verziend wordt gecorrigeerd met een positieve lens.

Als je **verziend** bent, zijn je ooglenzen te zwak of is je oogas te kort. Voorwerpen die vlakbij zijn, kun je dan niet goed zien. In figuur 41 zie je hoe dat komt: de ooglens breekt het licht niet sterk genoeg. Als je in de verte wilt kijken, moeten je ooglenzen steeds accommoderen. Dat is nogal vermoeiend. Iemand die verziend is, heeft positieve brillenglazen of contactlenzen nodig. Het licht wordt dan in totaal sterker gebroken, zodat er dan wel een scherp beeld op het netvlies ontstaat.

## Oudziend

Oudere mensen dragen vaak een leesbril, omdat ze oudziend zijn. Hun ooglenzen zijn minder elastisch, waardoor ze niet meer goed kunnen accommoderen. Het oog is niet meer in staat de ooglens voldoende bol te maken. Daardoor kunnen oudere mensen niet meer van dichtbij scherp zien en hebben ze de hulp nodig van een bril met positieve lenzen. Om de kleine letters in een boek van dichtbij toch te kunnen lezen, maken ze gebruik van een zogenoemde ‘leesbril’.

## Dioptrie

Een oogarts en een opticien gebruiken de dioptrie (dpt) om de sterkte $S$ van brillenglazen aan te geven (figuur 42). Je kunt de sterkte van een lens (in dioptrie) als volgt bepalen:

1 Reken de brandpuntsafstand om in m.
2 Reken dan uit: $1/f$.
3 Het getal dat je vindt, is de lenssterkte in dioptrie.

In formule:

$$S = \frac{1}{f}$$

Een brillenglas met een lenssterkte van +2 dpt heeft dus een brandpunts-afstand van 50 cm.




▲ **figuur 42**
Op leesbrillen in de winkel staat de sterkte (in dioptrie) al vermeld.

***Voorbeeldopgave 3***
Een leesbril heeft een brandpuntsafstand van 33 cm.
Bereken de sterkte van de bril.

gegevens $f = 33 \text{ cm} = 0{,}33 \text{ m}$

gevraagd $S = ?$

uitwerking $S = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{,}33} \approx +3{,}0 \text{ dpt}$

## Plus Ooglaseren

Zwemmen of hardlopen in de regen is voor mensen met een bril of contactlenzen niet altijd een pretje. Om van een bril of contactlezen af te komen, kun je je ogen laten laseren. Dit is een kleine operatieve ingreep. Met laserlicht wordt dan de bolling van het hoornvlies veranderd, zodat er weer een scherp beeld op het netvlies gevormd kan worden. Het laserlicht verwijdert daarbij het weefsel door het te laten verdampen.



Een bijziend oog wordt minder sterk gemaakt door het hoornvlies dunner te maken. Een verziend oog wordt sterker en boller gemaakt door de buitenrand van het hoornvlies weg te laseren. De bolling wordt dan groter doordat het midden hoger komt te liggen dan de randen.

De nieuwe ooglasertechniek maakt brillen niet helemaal overbodig. Als mensen eenmaal de veertig gepasseerd zijn, worden ze oudziend. Dat komt doordat ooglenzen dan minder elastisch worden. Ze kunnen dan niet goed meer accommoderen. Een leesbril is dan onmisbaar om dingen dichtbij goed te kunnen zien.

◀ **figuur 43**
Een ooglaserbehandeling vraagt veel nauwkeurigheid.

## opgaven Leerstof

**35** Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Wat wordt precies bedoeld met 'het accommoderen van het oog'? Leg uit.
- **b** Welke vorm hebben je ooglenzen als je naar een voorwerp in de verte kijkt?
- **c** Waarom kan iemand die bijziend is, voorwerpen in de verte niet goed zien?
- **d** Wat voor brillenglazen of contactlenzen heeft iemand nodig die bijziend is?

**36** Paul kijkt naar buiten, waar een auto voorbijrijdt, en meteen daarna naar het scherm van zijn telefoon.

- **a** Leg uit waardoor Paul in beide situaties een scherp beeld kan zien.
- **b** Wat is inspannender voor Pauls ogen: naar buiten kijken of op zijn telefoon? Waarom?
- **c** In welke situatie zijn zijn ooglenzen het platst?

## Toepassing

**37** Bij deze opgave heb je werkblad 3-10 nodig.
In de tekening op het werkblad houdt Nico een lucifer voor zijn linkeroog. Hij kan de lucifer nog net scherp zien.
- **a** Teken het beeld van de lucifer op het netvlies.
- **b** Is het beeld vergroot of verkleind?
- **c** Staat het beeld rechtop of op z'n kop?

**38** Hieronder zijn vier situaties beschreven:
1. Je ziet een vliegtuig overvliegen.
2. Je kijkt naar een film op de televisie.
3. Je zoekt een kleine splinter in je vinger.
4. Je speelt een game op een computer.

Zet deze vier situaties op volgorde: de situatie waarin de ooglens het bolst is, voorop; de situatie waarin de ooglens het platst is, achteraan.

**39** Wessel houdt een vinger 10 cm voor zijn ogen. Hij kan de vinger dan nog net scherp zien. De afstand tussen ooglens en netvlies is 1,7 cm (dat geldt voor beide ogen).
- **a** Hoe groot is de voorwerpsafstand?
- **b** Hoe groot is de beeldafstand?
- **c** Bereken de brandpuntsafstand.
- **d** Wessel kijkt nu naar een auto die 100 m verderop voorbijrijdt. Hoe groot is de voorwerpsafstand?
- **e** Hoe groot is de beeldafstand?
- **f** Bereken de brandpuntsafstand.

**40** Vervolg van opgave 39.
Bij opgave 39 heb je twee keer de brandpuntsafstand berekend.
- **a** Hoe groot is de brandpuntsafstand als Wessels ooglenzen zo bol mogelijk zijn?
- **b** Hoe groot is de brandpuntsafstand als Wessels ooglenzen zo plat mogelijk zijn?
- **c** In welk geval zijn Wessels ooglenzen het sterkst?

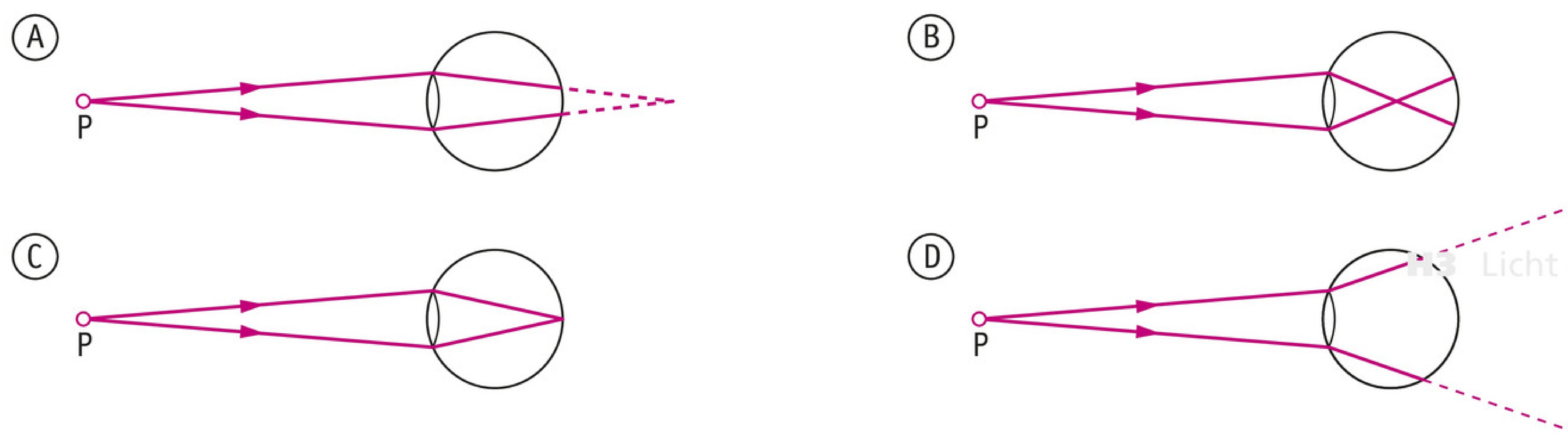
**41** Josée heeft behoorlijk sterke negatieve contactlenzen.
- **a** Is Josée bijziend of verziend?
- **b** Heeft Josée haar contactlenzen nodig om te kunnen lezen?
- **c** Heeft zij haar contactlenzen nodig om vanaf de tribune een voetbalwedstrijd te kunnen volgen?

**42** Marjan kan niet goed zien zonder bril. Als een voorwerp verder dan 2 m weg is, lukt het haar niet het beeld scherp op het netvlies te krijgen. Het beeld komt niet op, maar net iets voor het netvlies terecht.
- **a** Is Marjan verziend of bijziend?
- **b** Wat voor soort bril heeft Marjan nodig?

**43** Gerard heeft brillenglazen van sterkte +4 dpt.
Bereken de brandpuntsafstand van deze lenzen.

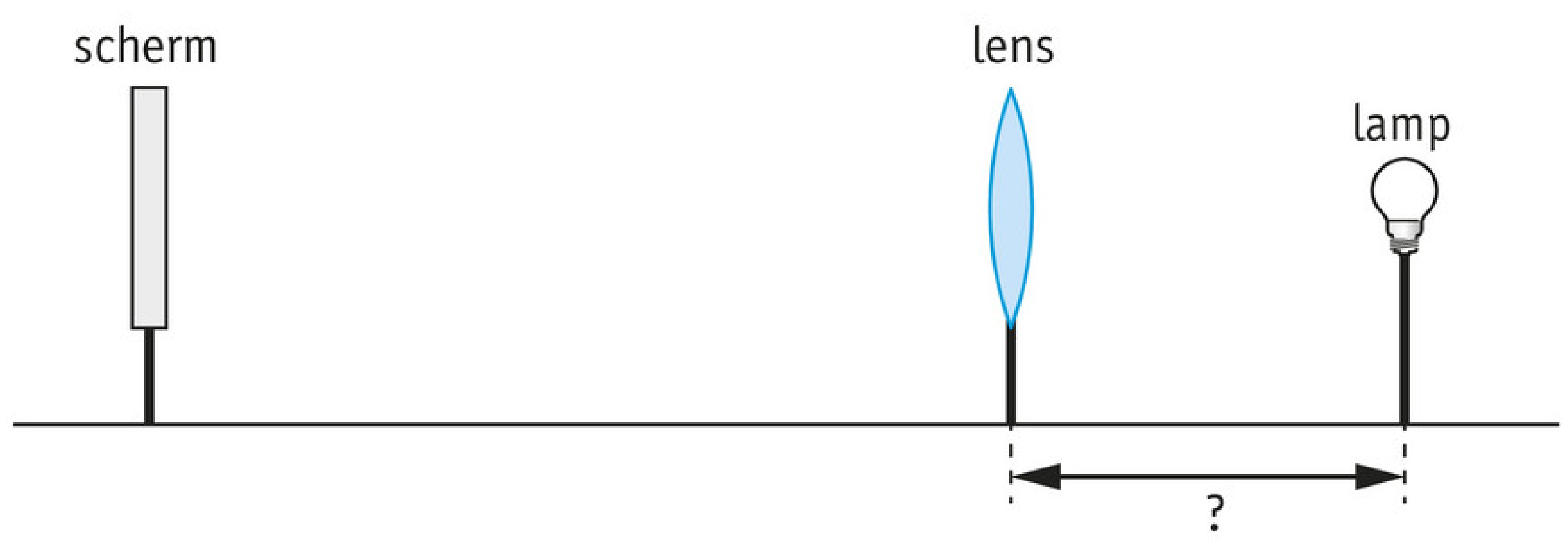
**44** Ester is 36 jaar en kijkt naar het beeldscherm van haar laptop. Haar ooglens is volledig geaccommodeerd. Toch ziet ze niet scherp, omdat haar ooglens het licht te weinig convergeert.

**a** Leg uit of Ester oudziend, bijziend of verziend is.
**b** Welke tekening in figuur 44 geeft deze situatie correct weer?




▶ **figuur 44**
Welke tekening geeft Esters oogafwijking juist weer?

***45** Joris maakt de opstelling die in figuur 45 getekend is. De lens heeft een sterkte van +17 dpt. In de getekende situatie valt er een evenwijdige bundel licht op het scherm.
Bereken hoe groot de afstand van de lamp tot de lens dan is.




▶ **figuur 45**
de proefopstelling van Joris

## **Plus** Ooglaseren

**46** Bij deze opgave heb je werkblad 3-11 nodig.
Noah is 20 jaar oud en kan dichtbij goed zien, maar veraf niet. Zijn ogen worden gelaserd om dit probleem te verhelpen. Op het werkblad zie je een van zijn ogen vóór de laserbehandeling.
Schets de vorm van het hoornvlies na de laserbehandeling.

**47** Keratotomie is een techniek met laserstraling die oogartsen soms gebruiken om een hoornvlies minder bol te maken.
Leg uit welke oogafwijking, bijziend of verziend, door keratotomie verholpen kan worden.

# Practicum

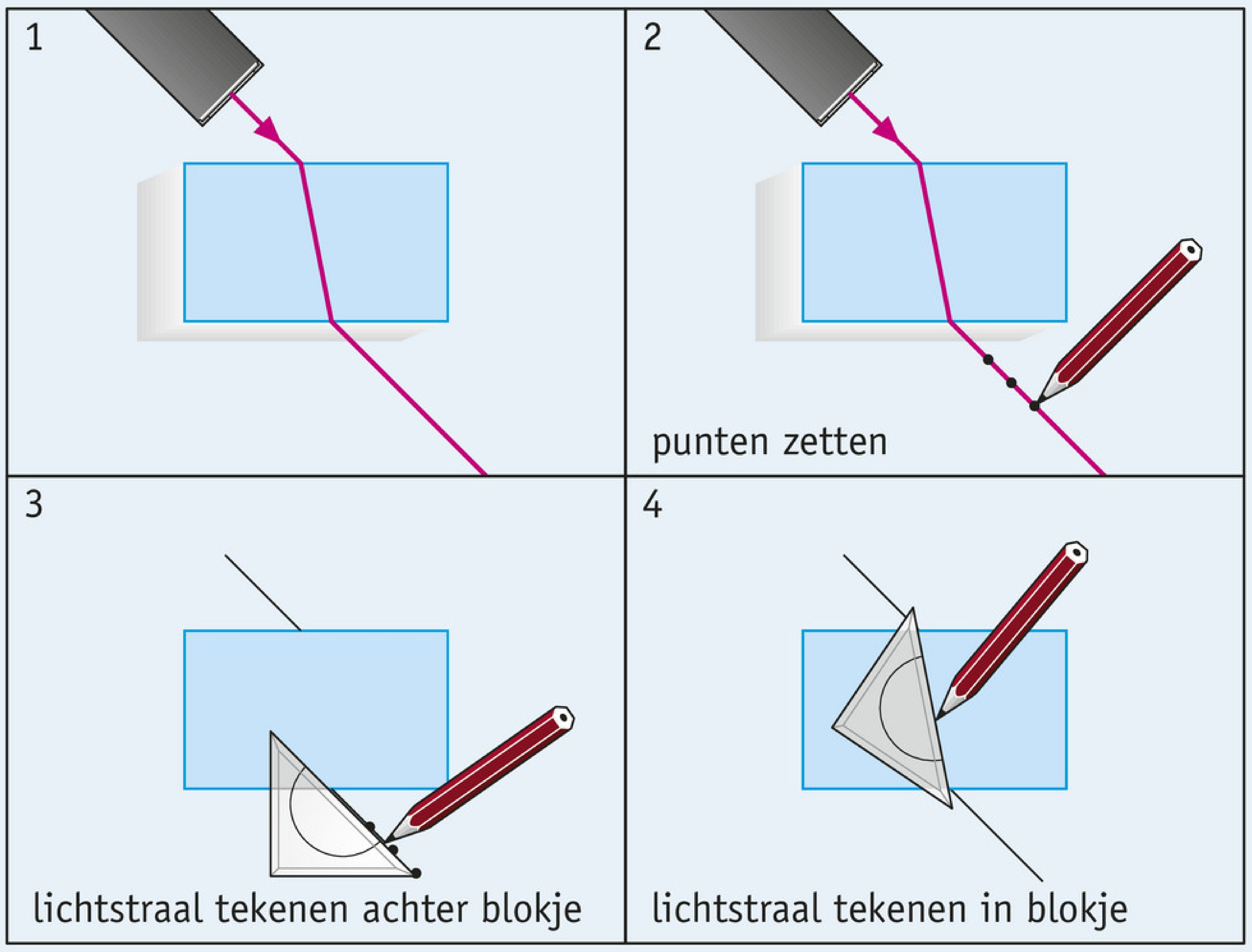
## Proef 1 Lichtstralen laten breken 30 min

### Inleiding
Als een lichtstraal op het oppervlak van een doorzichtige stof valt, gebeurt er iets bijzonders: het licht verandert van richting. Dit verschijnsel heet lichtbreking.

### Doel
Je gaat de lichtbreking door een perspex blokje onderzoeken.

### Nodig
- lichtkastje
- diafragma met één opening
- perspex blokje
- liniaal
- werkblad 3-12

### Uitvoeren en uitwerken
– Pak werkblad 3-12 erbij. Leg het perspex blokje op de juiste plaats in tekening a.




▲ **figuur 46**
Zo teken je de lichtstralen.

– Laat een lichtstraal op het blokje vallen. De echte lichtstraal moet samenvallen met de getekende lichtstraal.
– Zet drie punten op de lichtstraal die uit het blokje komt.
– Doe hetzelfde met de blokjes in de tekeningen b en c.

**1** Teken op het werkblad met een liniaal hoe elk van de drie lichtstralen door het blokje gebroken werd. Zie figuur 46.
**2** In welke situatie wordt de lichtbundel niet gebroken?
**3** In welke situatie wordt de lichtbundel het sterkst gebroken?
**4** Je ziet bij het perspex blokje ook spiegeling optreden. Geef met een kruisje op het werkblad aan waar dat het geval was.
**5** Geef op het werkblad overal waar breking optreedt, de normaal, de hoek van inval en de hoek van breking aan.

## Proef 2 Het verband tussen hoek van inval en hoek van breking 45 min

### Inleiding
Als lichtstralen van lucht naar perspex gaan, worden ze naar de normaal toe gebroken: de hoek van breking ∠*r* (tussen de gebroken lichtstraal en de normaal) is dan steeds kleiner dan de hoek van inval ∠*i* (tussen de invallende lichtstraal en de normaal).

### Doel
Je gaat het verband meten tussen de hoek van inval ∠*i* en de hoek van breking ∠*r* bij de overgang van lucht naar perspex.

### Nodig
- lichtkastje
- diafragma met één opening
- halfronde perspex schijf
- liniaal
- werkblad 3-13

### Uitvoeren en uitwerken
*Meten*
- Laat een lichtstraal op de schijf vallen, zoals in figuur 47 is getekend. De hoek van inval (∠*i*) is dan 30°.
- Ga na dat de lichtbundel alleen wordt gebroken bij de overgang van lucht naar perspex (en niet bij de overgang van perspex naar lucht, aan de ronde kant van de halve cirkel).
- Ga na dat de hoek van breking (∠*r*) 20° is.
- Meet voor nog zeven andere waarden voor ∠*i* die niet te dicht bij elkaar liggen, de bijbehorende ∠*r*.

**1** Neem tabel 3 over en noteer je meetgegevens in de tabel.

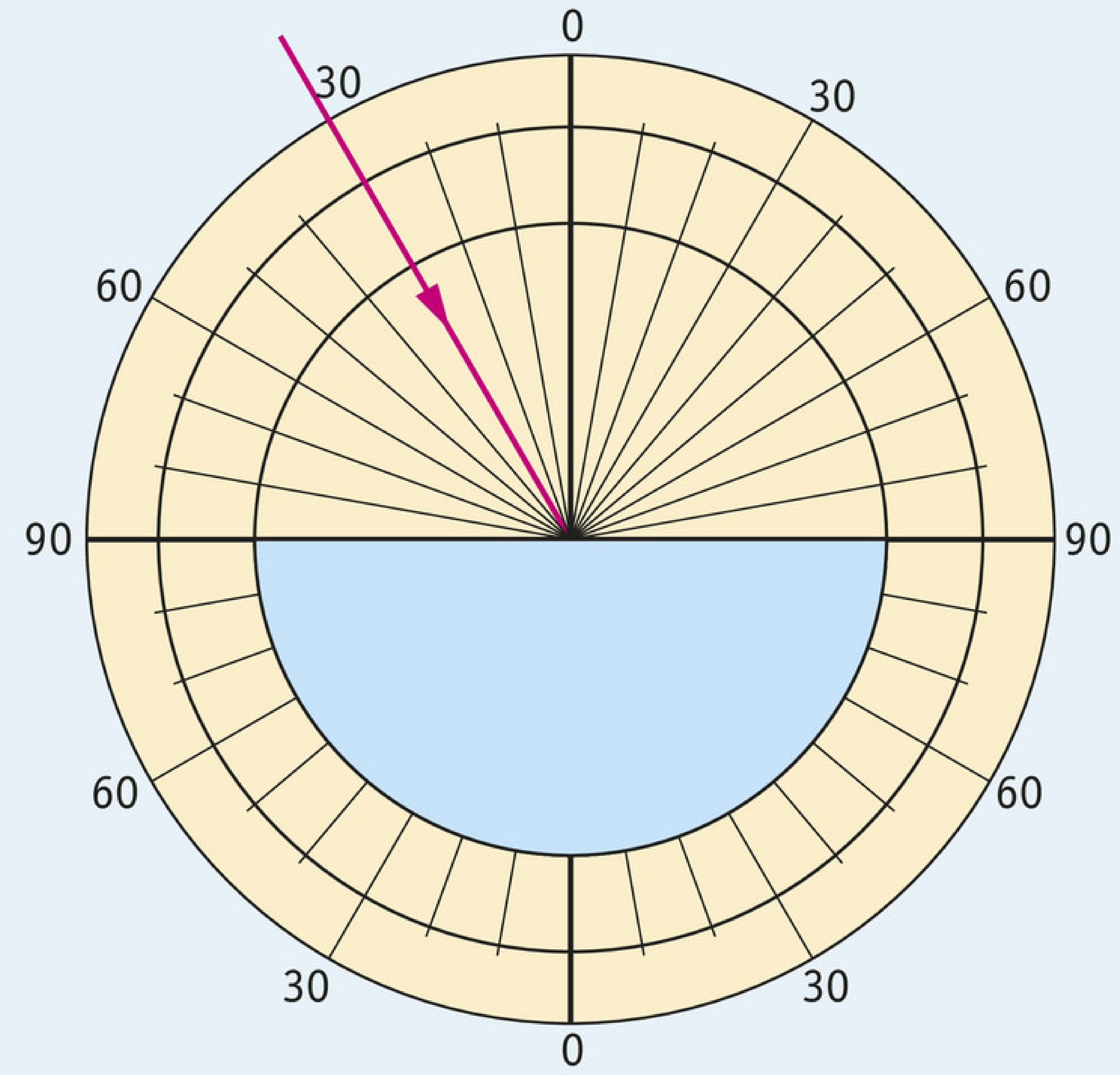
▼ **tabel 3** het verband tussen ∠*i* en ∠*r*

| ∠*i* | ∠*r* |
|---|---|
| | |
| 30° | |
| enzovoort | |

*Uitwerken*

**2** Pak werkblad 3-13 erbij. Teken een grafiek van je meetresultaten (∠*r* tegen ∠*i*).

**3** Lees uit de grafiek af hoe groot de hoek van breking is:
- **a** als de hoek van inval 25° is.
- **b** als de hoek van inval 45° is.
- **c** als de hoek van inval 65° is.
- **d** als de hoek van inval 85° is.




▲ **figuur 47**
de opstelling van proef 2

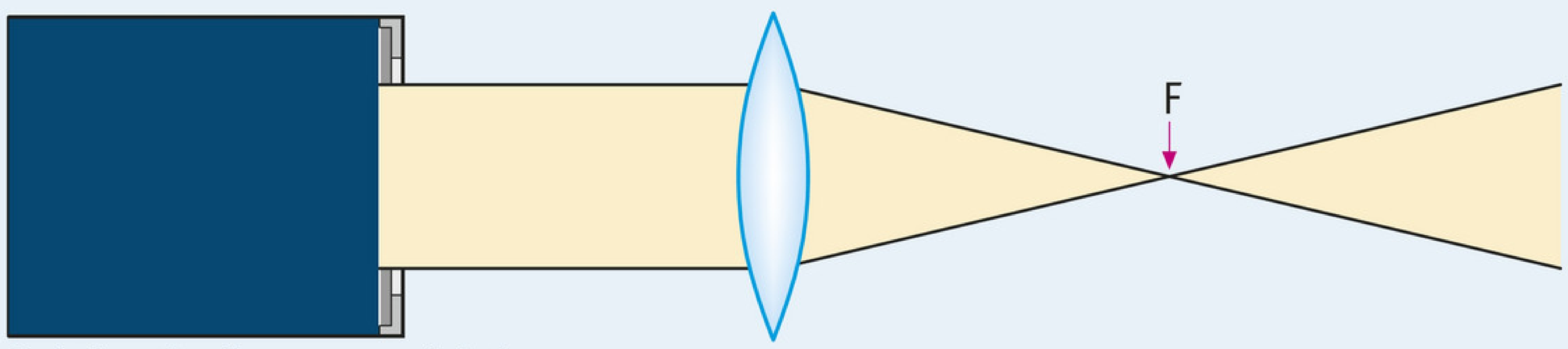
## Proef 3 Het brandpunt bepalen 30 min

### Inleiding
Als een evenwijdige lichtbundel loodrecht op een lens valt, wordt het licht gebroken naar één punt. Dat punt noem je het brandpunt. De afstand tussen het midden van de lens en het brandpunt wordt de brandpuntsafstand genoemd. Hoe sterker de lens, des te korter is de brandpuntsafstand.

### Doel
Je gaat van enkele positieve lenzen de brandpuntsafstand bepalen.

### Nodig
- lichtkastje
- verschillende positieve schijflenzen
- vel wit papier

▼ figuur 48
Zo plaats je de lens in de evenwijdige lichtbundel.




### Uitvoeren en uitwerken
– Maak met je lichtkastje op het vel wit papier een evenwijdige lichtbundel door het lampje in het kastje te verschuiven. Maak de lichtbundel zo smal (enkele centimeters) dat deze smaller is dan de kleinste lens. Controleer of de lichtbundel ook echt evenwijdig is.
– Plaats een positieve lens op het vel wit papier in de evenwijdige lichtbundel (zie ook figuur 48). Laat de evenwijdige lichtbundel eerst van links en dan van rechts op de lens vallen.
– Geef op het papier de plaats van de beide brandpunten van de lens aan met een punt.

**1** Bepaal voor elke lens de waarde van de brandpuntsafstand. Geef ook aan hoe je die hebt bepaald.
**2** Rangschik de lenzen in volgorde van sterkte: de lens met de kleinste sterkte voorop.
**3** Je had van tevoren al kunnen voorspellen welke lens het sterkst was.
Hoe dan?

## Proef 4 Divergent en convergent 20 min

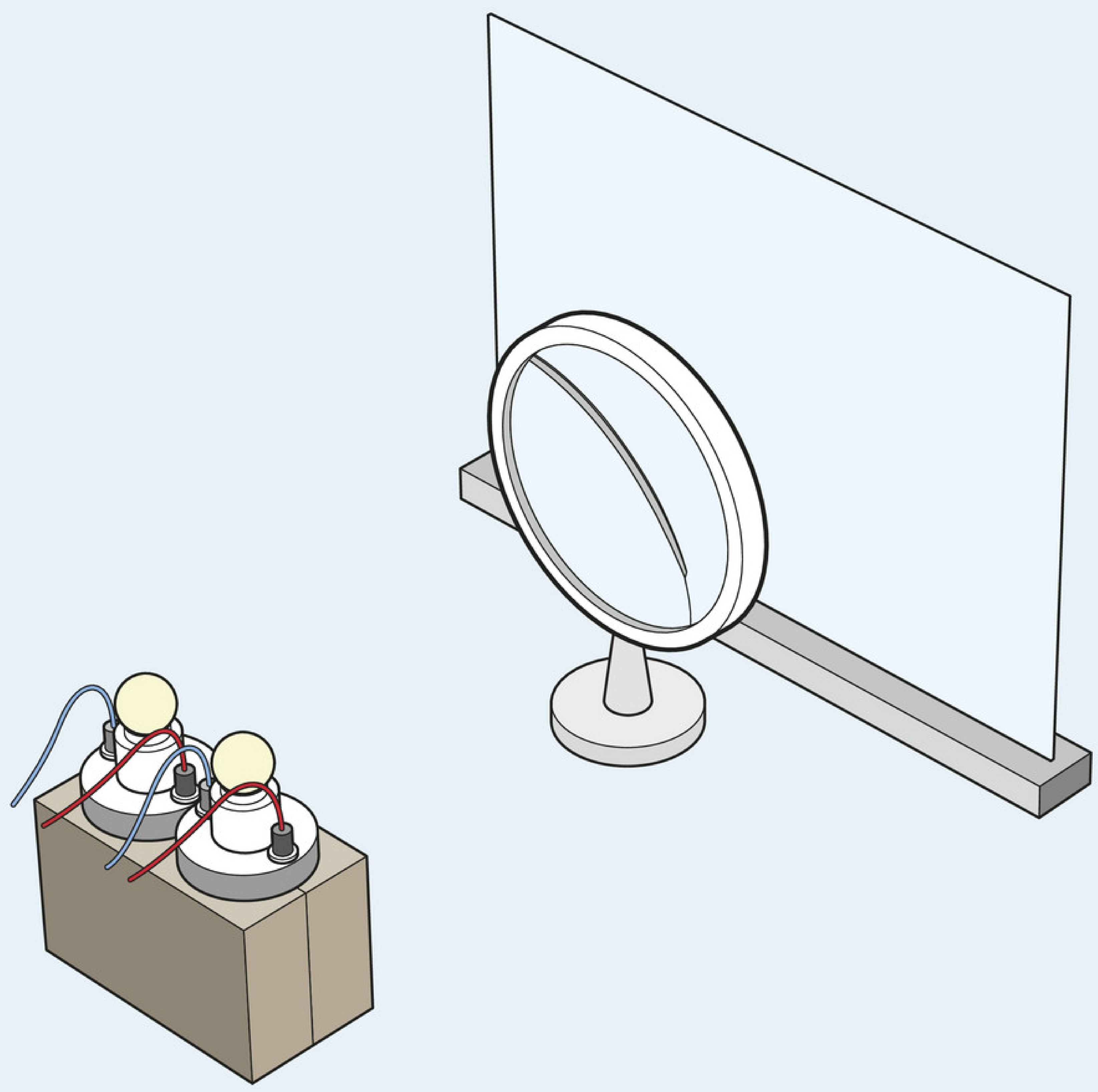
### Inleiding
Met een positieve lens kun je twee lampjes afbeelden op een scherm. Als het scherm op de juiste plaats staat, is het beeld scherp: elk punt van het voorwerp (de lampjes) wordt dan afgebeeld als een punt op het scherm.

### Doel
Bij deze proef ga je onderzoeken hoe zo'n scherp beeld tot stand komt.

### Nodig
- positieve lens ($f$ = 10 cm)
- lenshouder
- scherm
- 2 lampjes
- 2 fittingen
- batterij
- 2 snoeren
- liniaal

### Uitvoeren en uitwerken

- Maak de opstelling van figuur 49.
- Zet de lens 15 cm van het lampje af.
- Zet het scherm 5 cm achter de lens.



▲ **figuur 49**
de opstelling van proef 4

**1** Meet de doorsnede van een van de lichtvlekken die je op het scherm ziet.

- Schuif het scherm 5 cm verder bij de lens vandaan.

**2** Worden de lichtvlekken groter of kleiner?
**3** Divergeert het licht hier of convergeert het?

- Schuif het scherm nog wat verder naar achteren. Zoek de plaats op waar de lichtvlekken het kleinst zijn. Op dat moment zie je een scherp beeld van de beide lampjes.

**4** Worden de lampjes rechtop of op de kop afgebeeld?

- Dek het linkerlampje met je hand af.

**5** Welk lampje verdwijnt er nu uit het beeld, het linker of het rechter?

- Houd het ene lampje boven het andere. Dek het bovenste lampje met je hand af.

**6** Welk lampje verdwijnt er dan uit het beeld, het onderste of het bovenste?

- Schuif het scherm nog 10 cm verder bij de lens vandaan. Bekijk de lichtvlekken die je nu op het scherm ziet.

**7** Zijn de bundels op deze plaats divergent of convergent?
**8** Lees je antwoorden op de vragen 1 tot en met 7 nog eens door.
   **a** Beschrijf hoe de lichtvlekken veranderen als je het scherm steeds verder bij de lens vandaan schuift.
   **b** Leg uit hoe het komt dat de lichtvlekken zo veranderen. Gebruik de woorden ‘convergent’ en ‘divergent’. Tip: maak een schets bij je uitleg.

## Proef 5 De lenzenformule 45 min

### Inleiding
Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm. Het verband tussen de voorwerpsafstand $v$, de beeldafstand $b$ en de brandpuntsafstand $f$ wordt – bij een scherp beeld – gegeven door de lenzenformule:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b}$$

### Doel
Je gaat de lenzenformule controleren door een serie metingen te doen.

### Nodig
- optische bank
- lichtbron met dia
- positieve lens ($f$ = 10 cm)
- lenshouder
- scherm

### Uitvoeren en uitwerken
– Maak de opstelling van figuur 50.
– Stel de voorwerpsafstand $v$ in op 12,0 cm.
– Schuif het scherm heen en weer. Zoek op die manier de plaats waar het beeld het scherpst is.
– Meet de beeldafstand $b$.

**1** Neem tabel 4 over in je schrift. Noteer de gemeten beeldafstand in kolom 2 van de tabel.

– Kies nog minstens vier andere waarden voor $v$ tussen 12,0 en 30,0 cm. Meet bij elke $v$ de bijbehorende beeldafstand $b$.

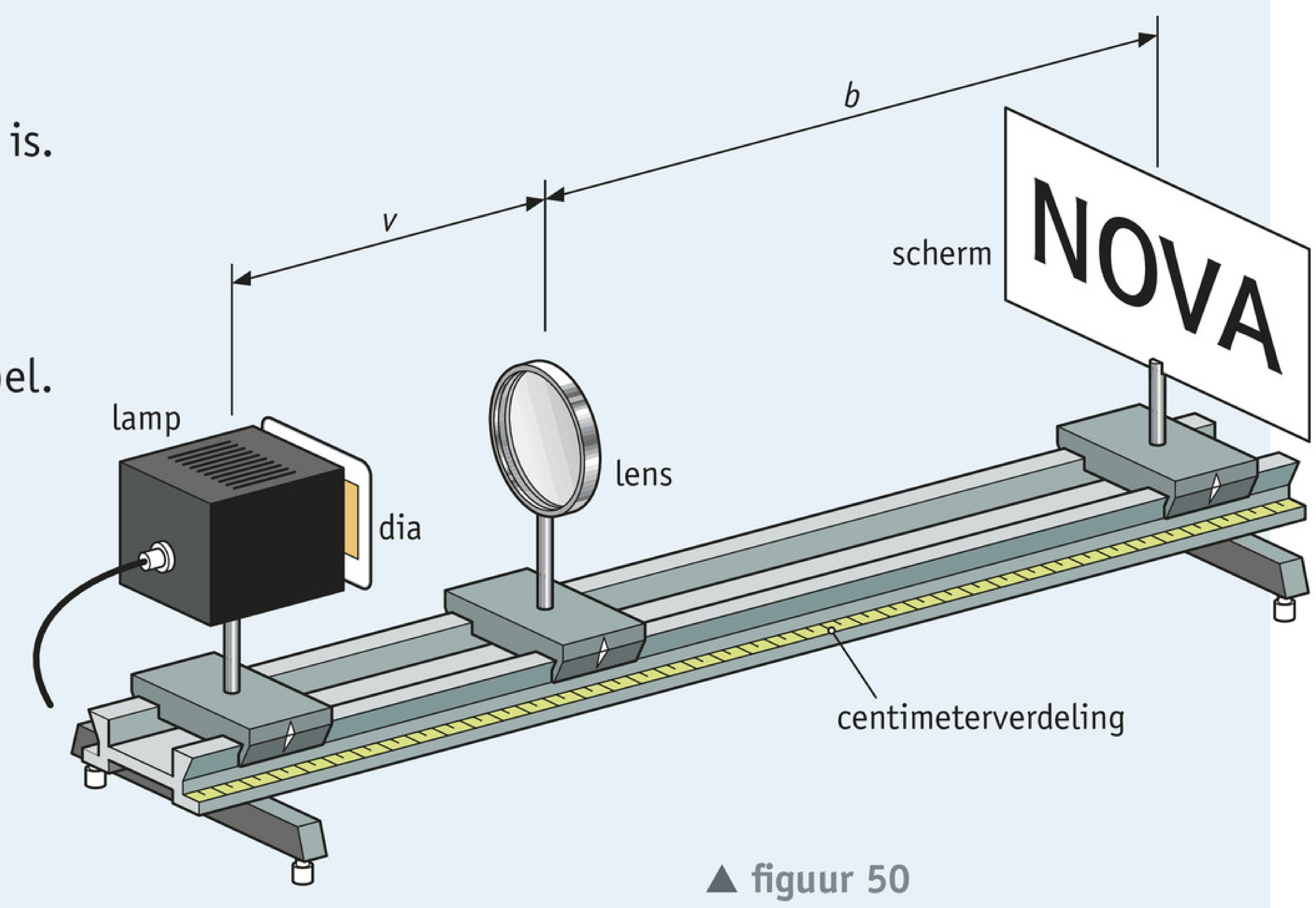
**2** Noteer je meetwaarden in kolom 1 en 2 van de tabel.

**3** Vul de tabel nu verder in.
- **a** Bereken $1/v$ met je rekenmachine. Rond het resultaat af op drie cijfers achter de komma en noteer de waarde in kolom 3.
- **b** Bereken $1/b$ met je rekenmachine. Rond het resultaat af op drie cijfers achter de komma en noteer de waarde in kolom 4.
- **c** Tel de getallen in kolom 3 en kolom 4 bij elkaar op. Zet het resultaat in kolom 5.
- **d** Volgens de lenzenformule moet het getal in kolom 5 gelijk zijn aan $1/f$. Je kunt $f$ dus berekenen door het getal in kolom 5 ‘om te draaien’ (met de $1/x$ toets op je rekenmachine). Zet het resultaat in kolom 6.

**4** Bereken het gemiddelde van de waarden van $f$ die je hebt gevonden en noteer die onder de tabel.

**5** Vraag aan je docent de werkelijke waarde van $f$ van de lens volgens de fabrikant.
Bereken hoeveel procent jouw (gemiddelde) waarde er naast zat.

– Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.




▲ **figuur 50** de opstelling van proef 5

▼ **tabel 4** de lenzenformule

| $v$ | $b$ | $1/v$ | $1/b$ | $1/v + 1/b$ | $f$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 12,0 cm | | | | | |
| | | | | | |
| enzovoort | | | | | |

## Proef 6 Een ontwerp maken – de sterrenkijker 90 min

### Inleiding
Stel je voor: je doet op school mee met een sterrenkundeproject. Je krijgt de opdracht om zelf een sterrenkijker of verrekijker te ontwerpen, waarmee je 's avonds naar de kraters op de maan kunt kijken.

### Doel
Bij deze proef ga je een sterrenkijker ontwerpen, bouwen en uitproberen. Je prototype moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

**Ontwerpeisen**
- De sterrenkijker bestaat uit twee positieve lenzen (het oculair vlak bij je oog en het objectief aan het andere uiteinde).
- Als je door de kijker kijkt, zie je een scherp en vergroot beeld van de sterrenhemel.
- De sterrenkijker zit stevig in elkaar en is gemaakt van materialen die weinig of niets kosten.
- De vergroting van de sterrenkijker kan gevarieerd worden met behulp van diverse objectieflenzen die gemakkelijk vervangbaar en instelbaar zijn.

### Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt. Overleg indien nodig met je docent.

### Uitvoeren en uitwerken
- Zoek op internet informatie over sterrenkijkers die je zelf in elkaar kunt knutselen. Ga na wat de functie van het oculair en het objectief is en hoe je deze lenzen moet plaatsen om een scherp beeld te krijgen.

**1** Zie vaardigheid 9 achter in het boek.
Maak een werkplan voor deze opdracht.

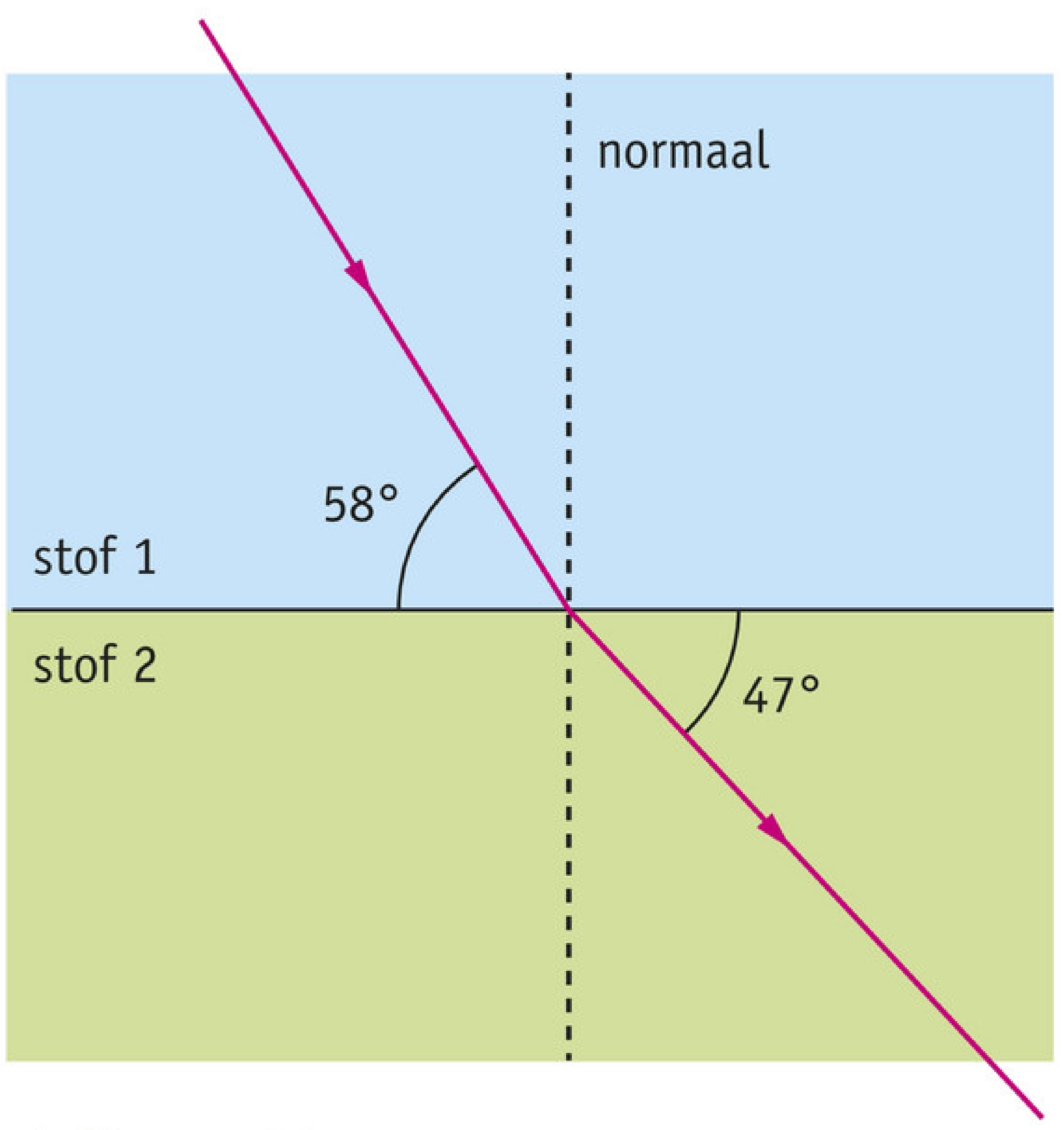
- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Bouw de sterrenkijker volgens de ontwerpeisen en probeer hem uit.

**2** Maak een testverslag met daarin:
**a** een duidelijke bouwtekening van de sterrenkijker;
**b** een lijst met materialen die je hebt gebruikt;
**c** de tests die je hebt uitgevoerd om een scherp beeld te krijgen;
**d** duidelijke uitleg over de manier waarop je de vergroting kunt variëren.

# Test Jezelf

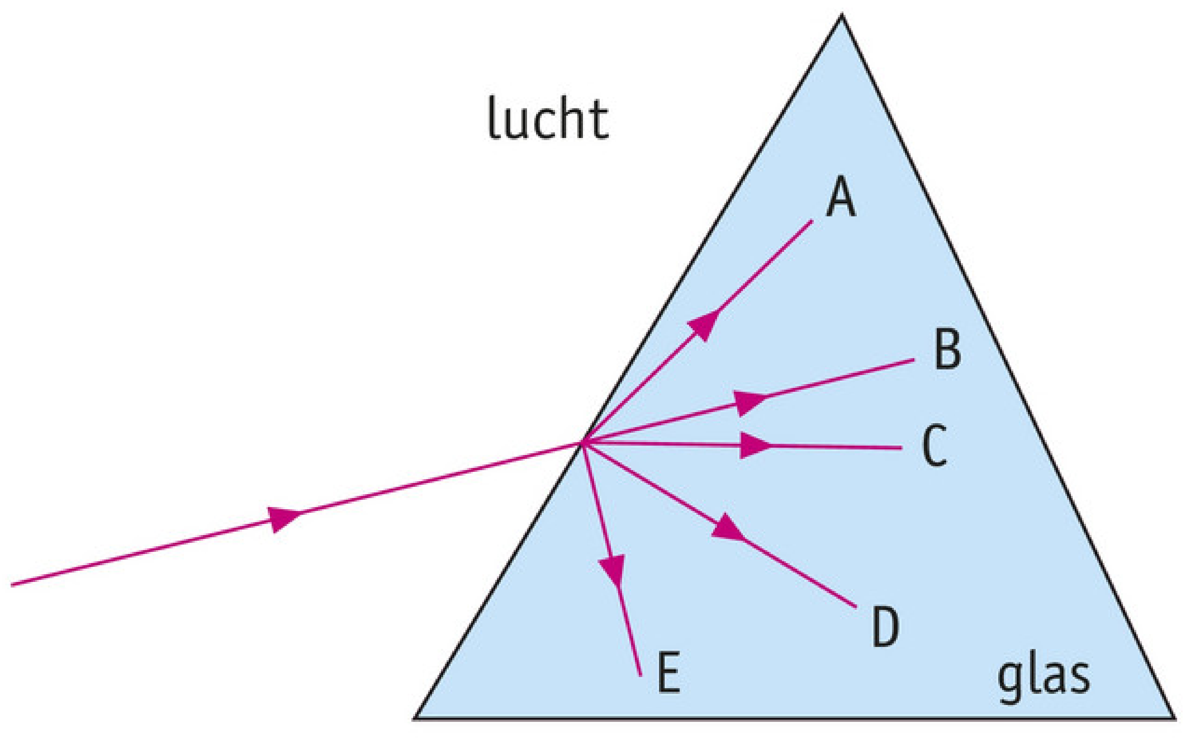
**Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.**

**1** Een lichtstraal beweegt van stof 1 naar stof 2 (figuur 51). Een van de stoffen is lucht, de andere stof is glas.
- **a** Hoe groot is de hoek van inval?
- **b** Hoe groot is de hoek van breking?
- **c** Welke stof is lucht en welke stof is glas?



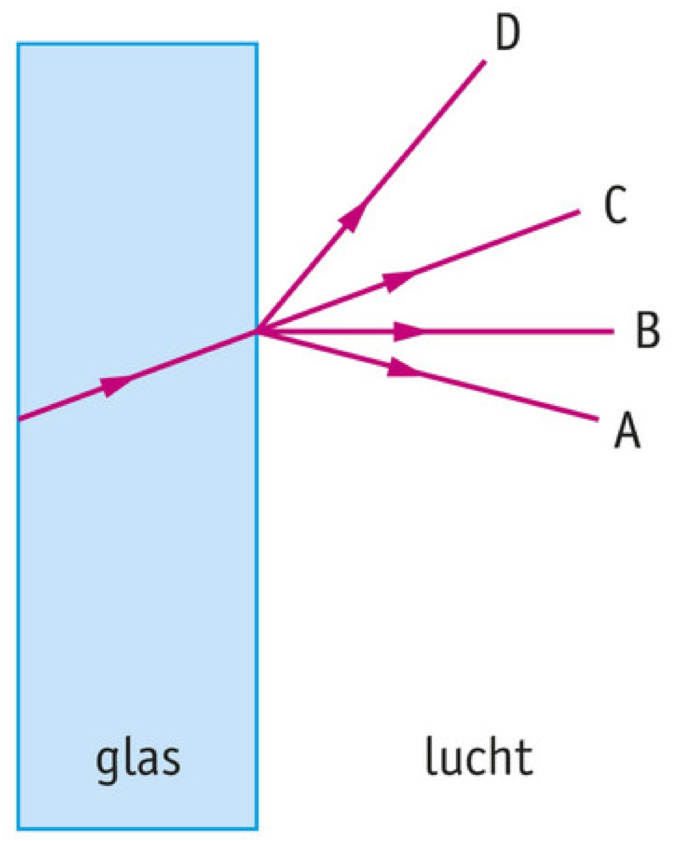

▲ **figuur 51**
lichtbreking van stof 1 naar stof 2

**2** Een lichtstraal valt op een glazen prisma (figuur 52).
Hoe beweegt de lichtstraal daarna verder: volgens A, B, C, D of E?



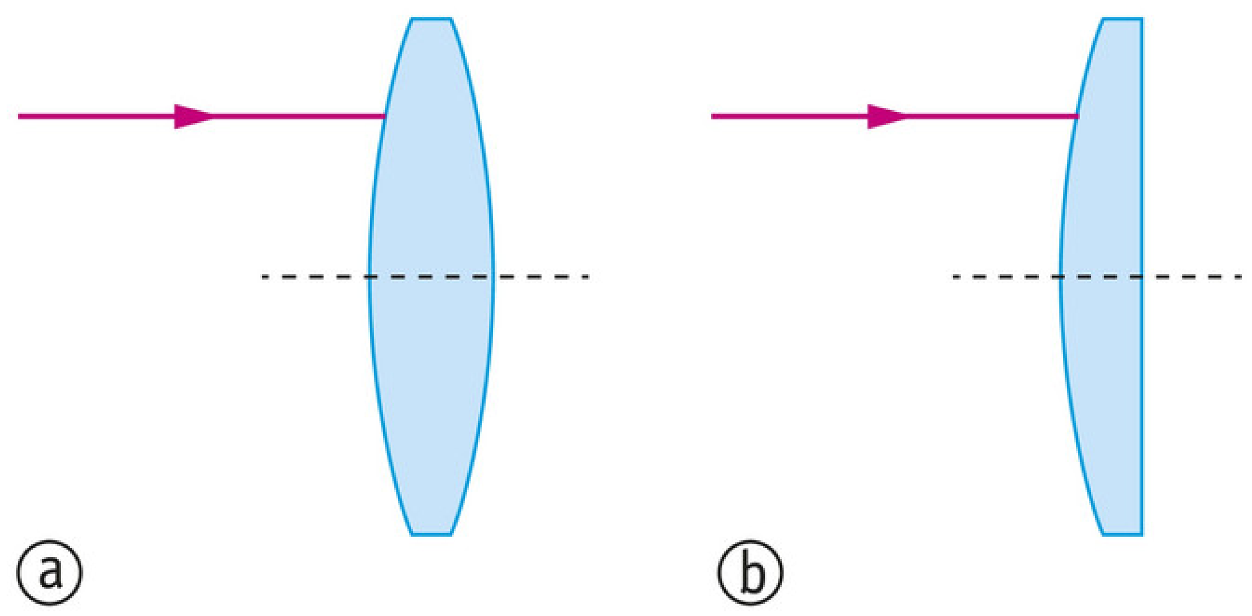

▲ **figuur 52**
lichtbreking door een prisma

**3** Een lichtstraal valt op het grensvlak tussen glas en lucht (figuur 53).
Hoe beweegt de lichtstraal daarna verder: volgens A, B, C of D?



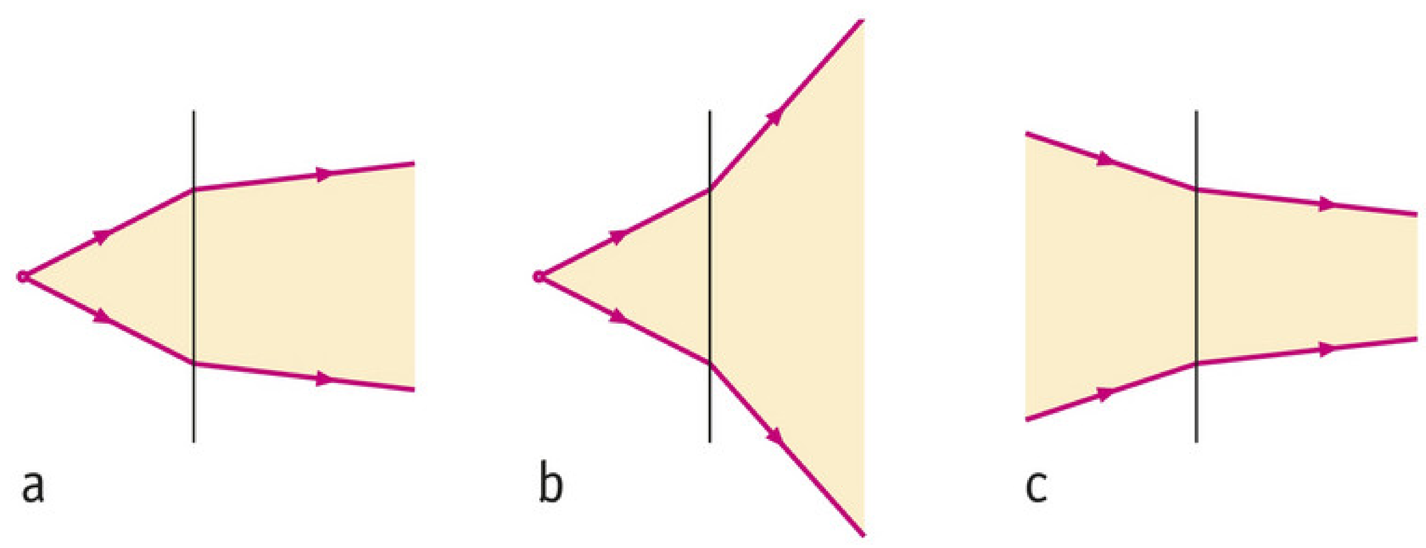

▲ **figuur 53**
lichtbreking door een glasplaat

**4** In figuur 54 zie je twee lenzen. Op elke lens valt een lichtstraal evenwijdig aan de hoofdas.
- **a** Bij welke lens wordt de lichtstraal het sterkst gebroken?
- **b** Welke lens heeft de grootste brandpunts-afstand?

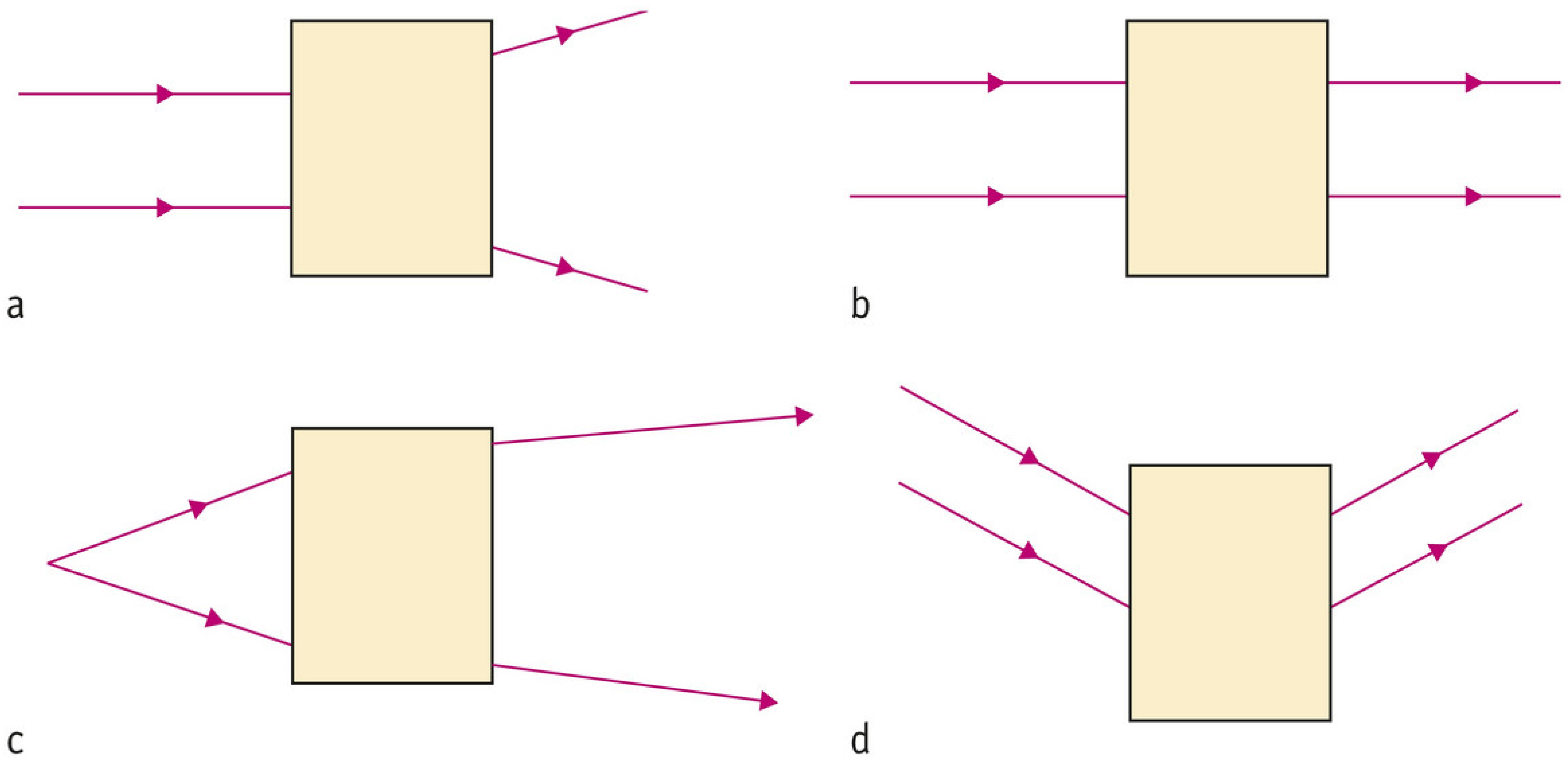



▲ **figuur 54**
twee lenzen

**5** In figuur 55 zie je hoe drie lenzen een invallende lichtbundel breken.
Geef van elke lens aan:
- of hij een convergerende of een divergerende werking heeft;
- of het om een negatieve of om een positieve lens gaat.




▶ **figuur 55**
convergeren en divergeren




▶ **figuur 56**
Wat zit er in elke koker?

**6** In figuur 56 zijn vier kokers getekend.
- In één koker zit helemaal niets.
- In één koker zit een holle lens.
- In één koker zit een bolle lens.
- In één koker zit een spiegel.

Noteer van elke koker wat er in zit.

**7** Vanuit een klein lampje valt licht op een positieve lens. Het licht komt achter de lens weer samen in één punt.
Hoe noem je dit punt?
A het beeldpunt
B het brandpunt
C het voorwerpspunt
D het midden van de lens

**8** Met een positieve lens kun je een voorwerp afbeelden op een scherm.
Iris zegt: "Vergeleken met het voorwerp staat het beeld altijd op de kop."
Marjolein zegt: "Vergeleken met het voorwerp is het beeld altijd verkleind."
Wat is juist?
A Iris en Marjolein hebben allebei gelijk.
B Iris heeft gelijk, Marjolein heeft ongelijk.
C Iris heeft ongelijk, Marjolein heeft gelijk.
D Iris en Marjolein hebben allebei ongelijk.

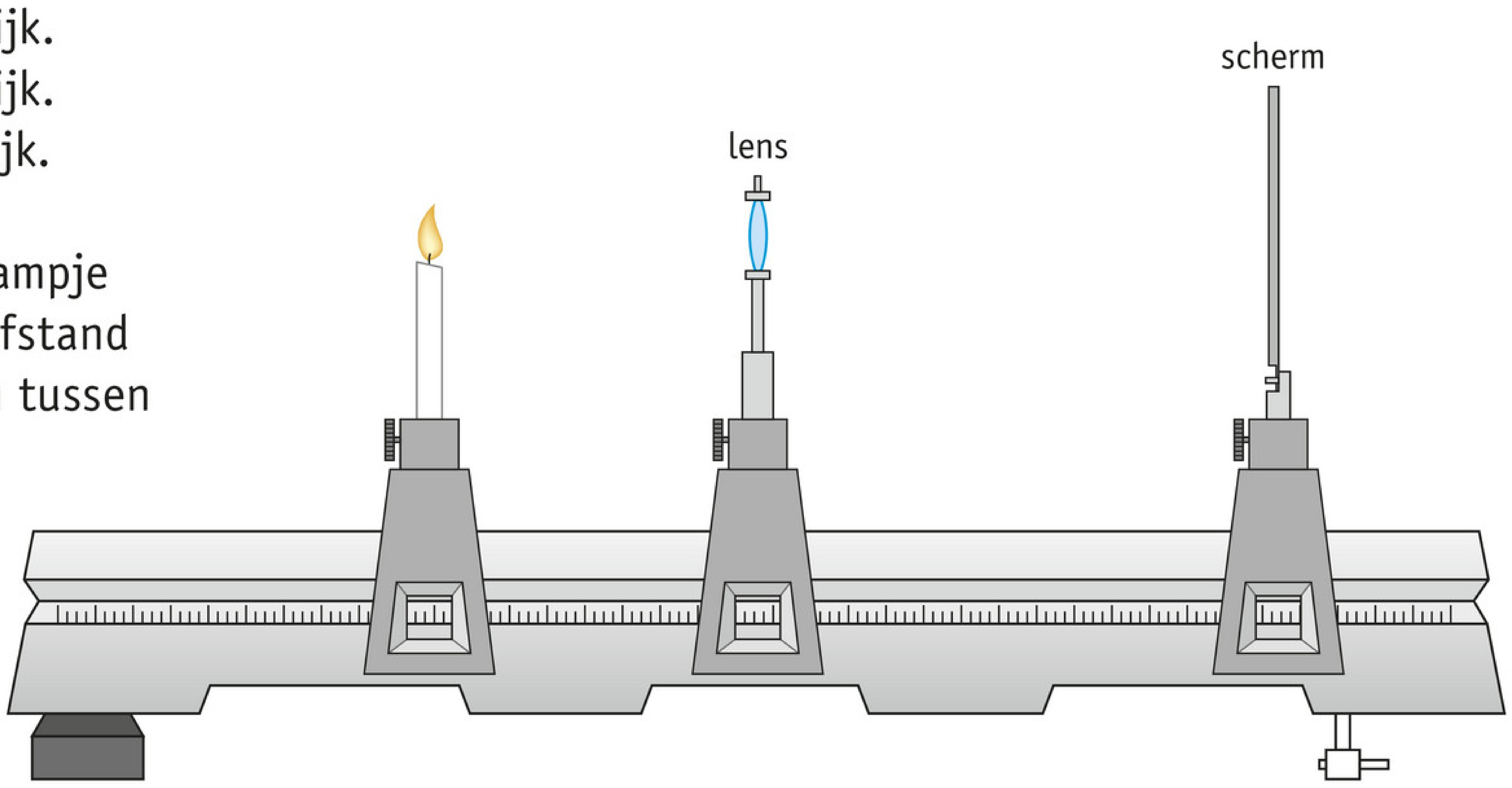
**9** Zoë gebruikt een positieve lens om een lampje scherp af te beelden op een scherm. De afstand tussen het lampje en de lens is 15 cm, en tussen het scherm en de lens is 7,5 cm.
Bereken de brandpuntsafstand van de lens.

**10** Alex gebruikt een beamer om foto's te laten zien. De foto op het scherm is 180 cm breed en 135 cm hoog. De vergroting is 60×.
Hoe groot is de afbeelding op het lcd-scherm in de beamer?

**11** Nick heeft een opstelling gemaakt met een positieve lens ($f$ = 12 cm). Voor de lens staat een 10 cm hoge, brandende kaars. Op een scherm dat 36 cm achter de lens staat, is een scherp beeld van de kaarsvlam te zien (figuur 57).
Bereken hoe groot de voorwerpsafstand is.

**12** Vervolg van vraag 11.
Bereken de vergroting van het beeld op het scherm.

**13** Inge loopt in Rotterdam en bewondert de Euromast. Dan kijkt ze naar het scherm van haar telefoon om informatie over de Euromast op te zoeken.
**a** Worden Inges ooglenzen boller of minder bol, als ze haar blik op het scherm richt?
**b** Wordt de brandpuntsafstand van haar ooglenzen daardoor groter of juist kleiner?




▶ **figuur 57**
de proefopstelling van Nick

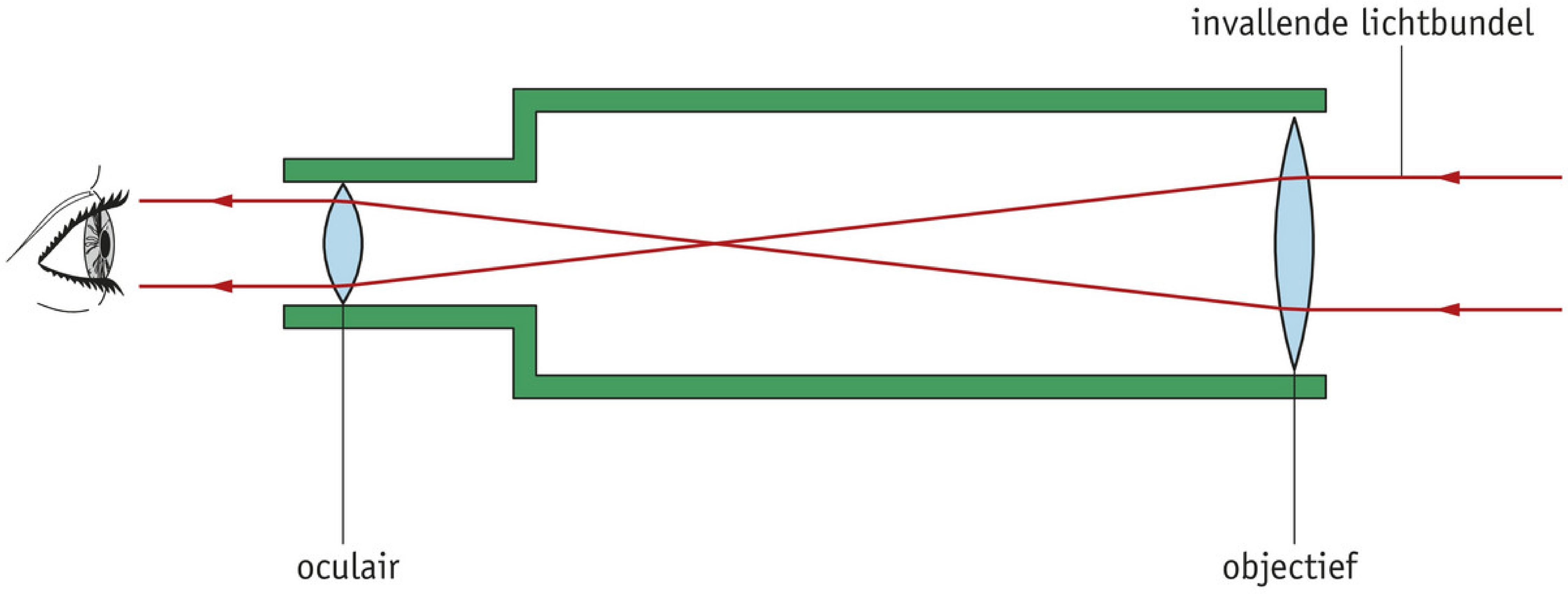
**14** Pauliens eigen ooglenzen breken het licht niet sterk genoeg. Ze draagt daarom contactlenzen.
- **a** Hoe heet de oogafwijking van Paulien: is ze bijziend of verziend?
- **b** Zijn de contactlenzen die Paulien draagt, positief of negatief?

**15** Robert draagt een bril. Zijn linker brillenglas heeft een brandpuntsafstand van 40 cm.
Bereken de sterkte van het linker brillenglas in dioptrie.

**16** Noteer of de volgende beweringen waar of onwaar zijn.
- **a** Je ogen stellen scherp door de beeldafstand *b* aan te passen aan de situatie.
- **b** Het veranderen van vorm van de ooglens wordt accommoderen genoemd.
- **c** Je ooglenzen zijn het platst, als je iets kleins van heel dichtbij bekijkt.
- **d** Als iemand verziend is, zijn de ooglenzen te sterk en/of is de oogas te lang.
- **e** Iemand die bijziend is, heeft positieve brillenglazen of contactlenzen nodig.

**17** In figuur 58 zie je een vereenvoudigde tekening van een telescoop. In de telescoop zitten twee lenzen, het objectief en het oculair.
Leg uit:
- **a** of het objectief een positieve of een negatieve lens is.
- **b** of het oculair een positieve of een negatieve lens is.
- **c** welke lens de kortste brandpuntsafstand heeft.
- **d** welke lens het licht het sterkste breekt.

▼ **figuur 58**
een eenvoudige telescoop




**18** Bij deze opgave heb je werkblad 3-14 nodig.
Heleen doet een proef met een optische bank. Op het werkblad is haar proefopstelling schematisch getekend.
- **a** Construeer het beeld van de pijl.
- **b** Bepaal de vergroting.

**19** Bij deze opgave heb je werkblad 3-15 nodig.
Een beamer projecteert een afbeelding op een smartboard voor in de klas. Op het werkblad zijn het lcd-scherm en het smartboard schematisch getekend. Het beeld vult het hele smartboard tot aan de randen.
- **a** Gebruik de constructiestralen om erachter te komen:
  - waar de lens zich bevindt.
  - waar het brandpunt ligt.
- **b** Teken de lens op de juiste plaats als een verticale streep.
- **c** Zet een stip op de plaats van het brandpunt en zet er een hoofdletter F bij.

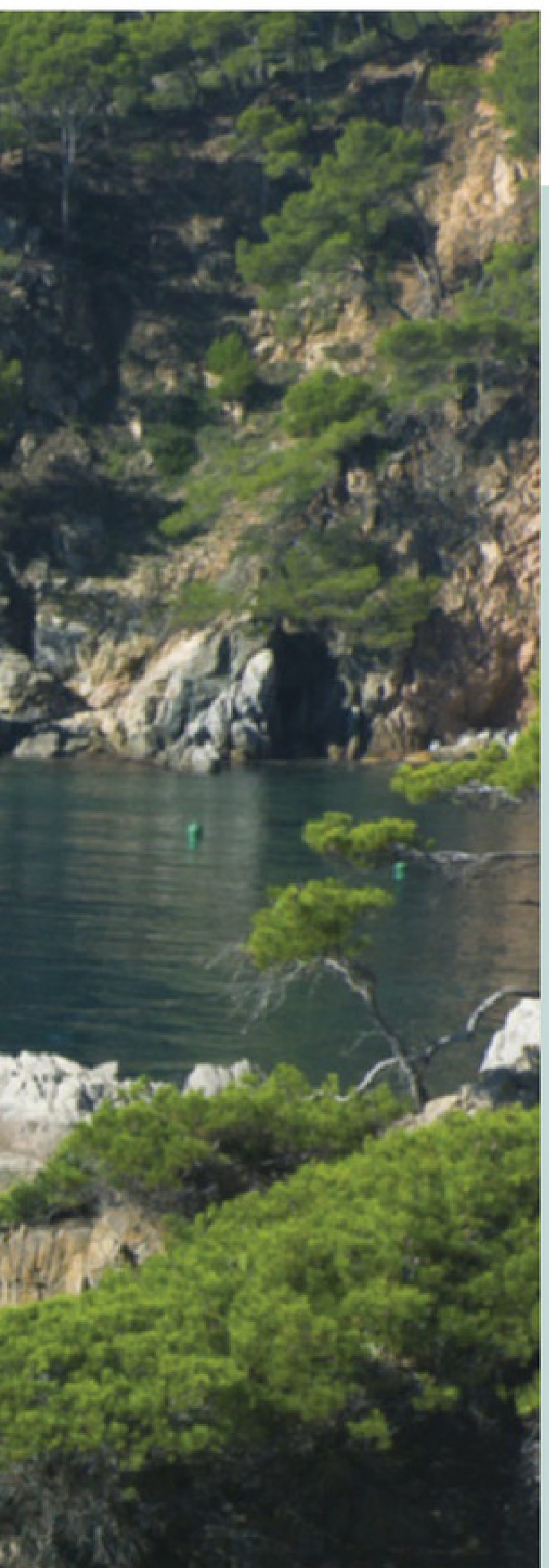
**20** In figuur 59 zijn meneer en mevrouw De Bok samen op vakantie.
Leg uit of een van hen tweeën:
- **a** bijziend is.
- **b** oudziend is.
- **c** verziend is.




▲ **figuur 59**
Meneer en mevrouw De Bok zien het niet zo scherp meer.



# Hoe werkt... een camera?



**Met een goede camera kun je haarscherpe foto's maken. Hoe scherp het beeld is, zie je pas als je zo'n foto vergroot bekijkt. Je ontdekt dan allerlei details die zonder vergroting nauwelijks te zien zijn. Om zo'n foto te maken, hoef je geen vakkundige fotograaf te zijn. Goed kijken en klikken, meer hoef je niet te kunnen. De camera zit vol technologie die het werk voor jou doet.**



Het hart van de camera wordt gevormd door een beeldchip van maximaal 2,4 bij 3,6 cm, maar meestal nog veel kleiner. De beeldchip is verdeeld in miljoenen gebiedjes die pixels genoemd worden. Als je een foto maakt, wordt er door elke pixel een klein stukje van het beeld vastgelegd.

De computer in de camera verwerkt de informatie van de pixels op de beeldchip tot één bestand. Je kunt dit bestand op je computer zetten en dan bekijken bij een sterke vergroting. Dan zie je dat het beeld bestaat uit allemaal losse 'blokjes'. Dat zijn de pixels waaruit het beeld is opgebouwd.

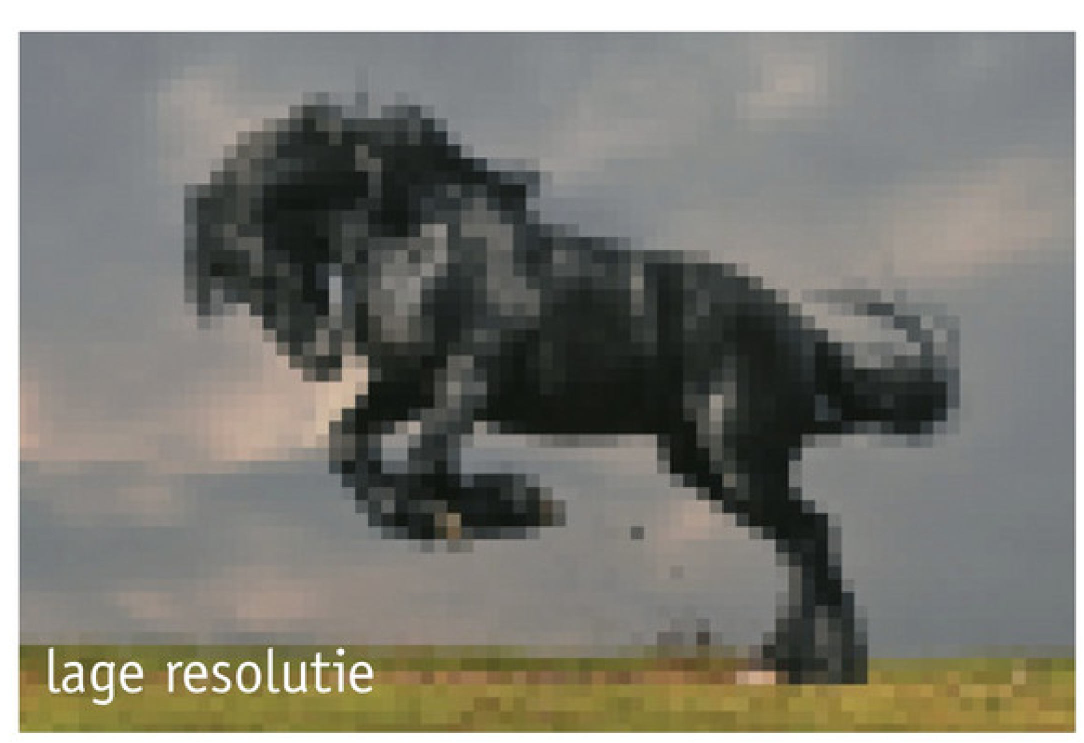
Het aantal pixels waaruit het beeld bestaat, noem je de resolutie. Hoe hoger de resolutie, des te meer detail het beeld kan bevatten. Maar let op: kán bevatten. De foto moet daarvoor wel goed scherp zijn. Als je een onscherpe foto vergroot, krijg je geen duidelijke details te zien, maar alleen vage kleurvlekken. Bij camera's wordt de resolutie gegeven in megapixels. Een camera van 25 megapixel (25 MP) maakt foto's van 25 miljoen pixels. Zo'n foto kun je flink vergroten zonder dat de kwaliteit van het beeld merkbaar achteruitgaat.

### Kleuren weergeven

Als je een foto opslaat als jpeg-bestand (een populair bestandsformaat voor foto's) worden er voor elke pixel drie getallen vastgelegd: het eerste getal geeft de hoeveelheid rood licht aan, het tweede



hoge resolutie



lage resolutie

de hoeveelheid groen licht en het derde de hoeveelheid blauw licht. Op basis van deze informatie kan een beeldscherm, dat ook met rood, groen en blauw licht werkt, de foto correct weergeven.

Je zou denken dat de pixels op de beeldchip gevoelig zijn voor verschillende kleuren licht, maar dat is niet zo. De pixels zijn kleurenblind: ze reageren alleen op de intensiteit van het licht. Om de kleuren in het beeld toch te kunnen vastleggen, wordt een kleurfilter gebruikt.

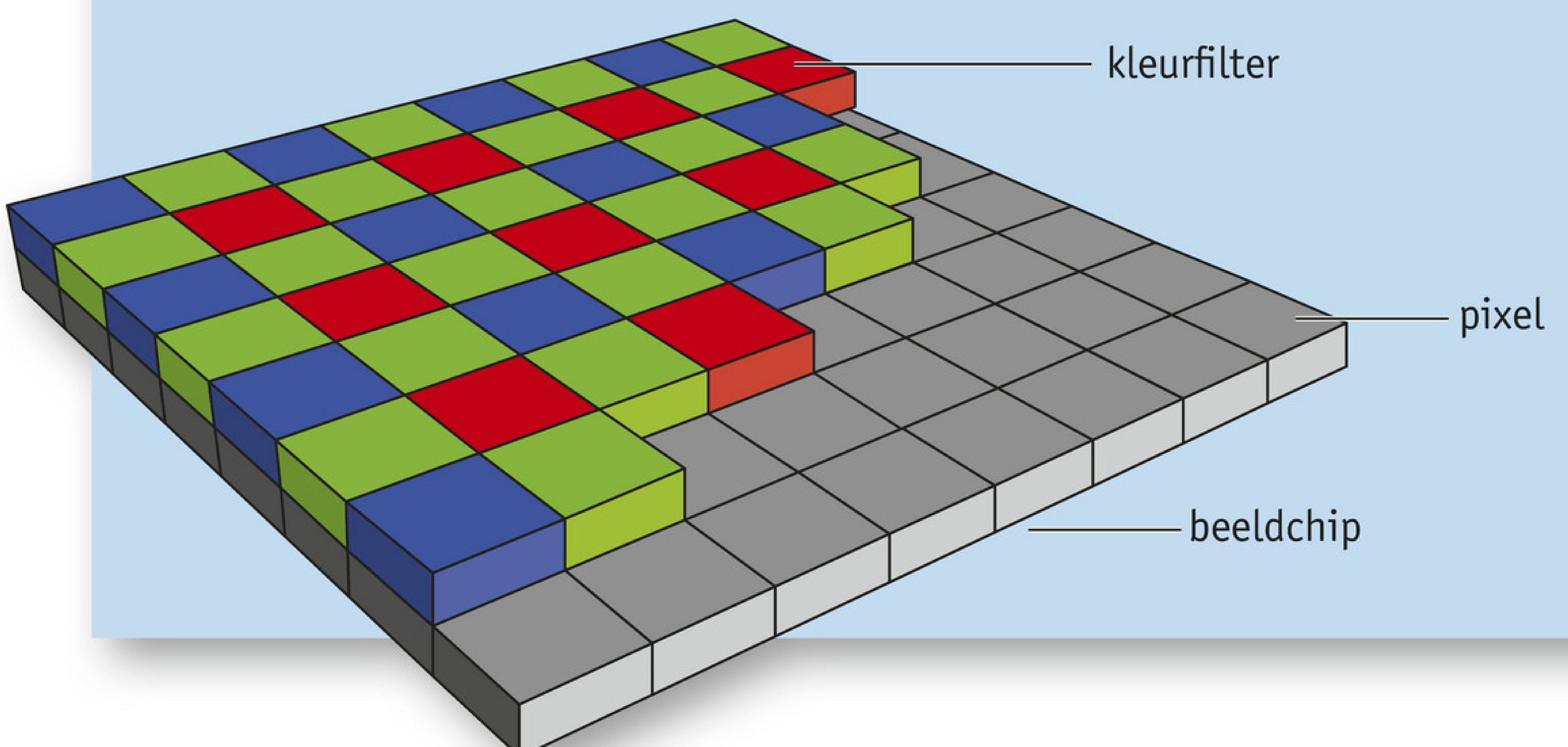
De meeste camera's hebben een filter dat uit rode, groene en blauwe blokjes bestaat. Boven elke pixel op de beeldchip zit precies één blokje. Elke pixel heeft dus zijn eigen filterblokje waardoor hij licht ontvangt. De rode blokjes laten (bijna) alleen rood licht door. De pixels onder een rood blokje leggen dus alleen informatie vast over de hoeveelheid rood licht. De pixels onder een groen blokje doen dat met groen licht, en de pixels onder een blauw blokje met blauw licht.

De informatie die de beeldchip levert, is dus niet compleet. Elke pixel geeft maar informatie over één kleur licht: rood, groen of blauw. Er is een complexe computerbewerking voor nodig om het beeld compleet te maken. De software gebruikt de informatie van aangrenzende pixels om de twee ontbrekende kleurwaarden te berekenen. Op die manier kunnen voor elke pixel drie kleurwaarden worden vastgelegd.

Hoe groter de resolutie, des te meer detail kan het beeld laten zien.

## ZESTIEN MILJOEN KLEUREN

De getallen die in een jpeg-bestand worden vastgelegd, lopen van 0 tot 255. De intensiteit van rood kan in 256 gradaties worden vastgelegd: van 0 (geen rood) tot 255 (rood op volle sterkte). Hetzelfde geldt voor groen en blauw. Er kunnen dus in totaal 256 × 256 × 256 verschillende mengkleuren vastgelegd worden: meer dan 16 miljoen in totaal. Dat is als regel voldoende voor een goede kleurweergave.

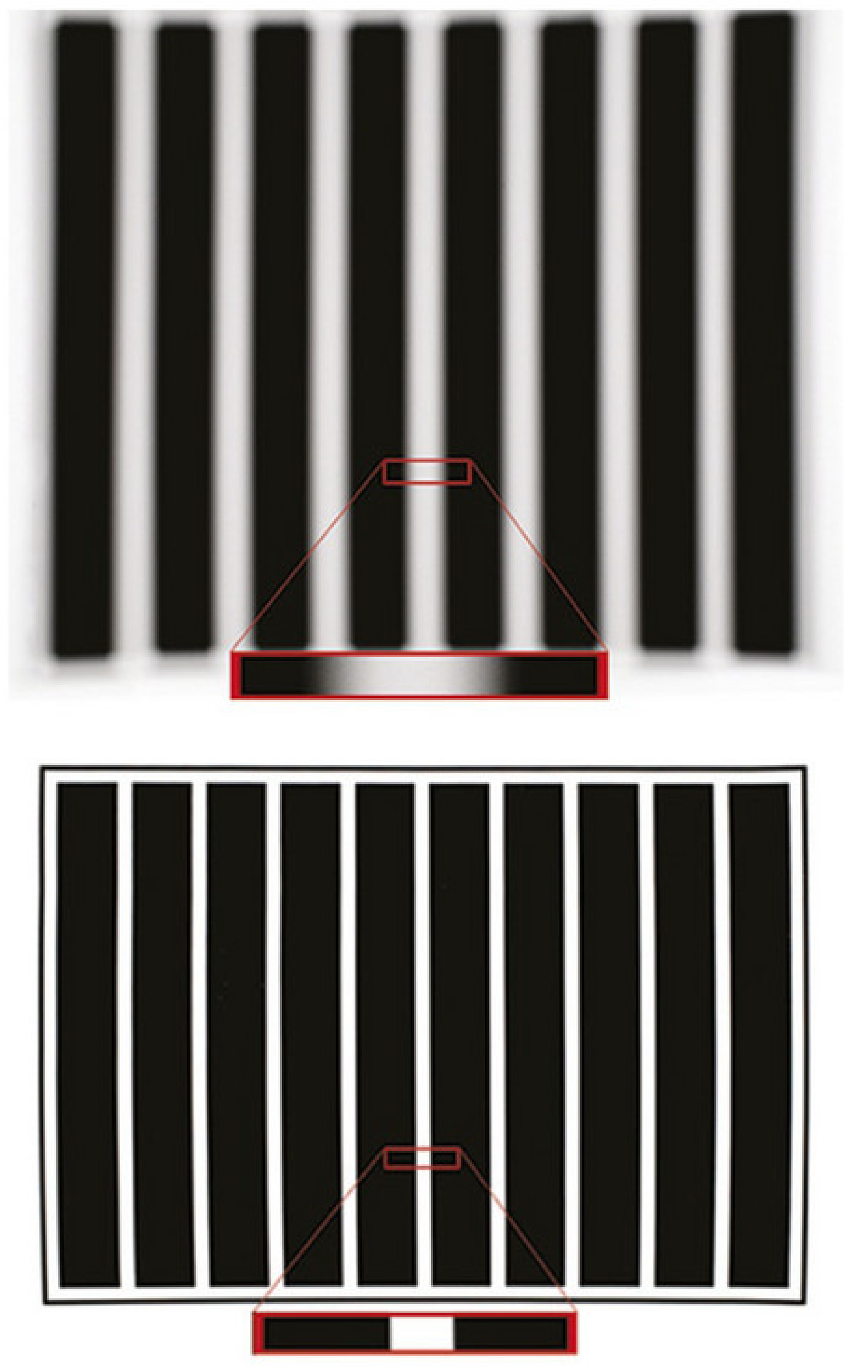



### Scherpstellen

Een camera stelt anders scherp dan je ogen dat doen. Je ooglenzen focussen door van vorm te veranderen: ze worden boller of juist platter. Een camera stelt scherp door de lens te verplaatsen: naar de beeldchip toe of bij de beeldchip vandaan. Hoe dichter het voorwerp bij de lens komt, des te verder beweegt de lens bij de beeldchip vandaan.

Als de camera op autofocus staat, wordt de lens door een klein motortje automatisch op de juiste afstand gezet. Om dat te kunnen doen, heeft het scherpstelsysteem informatie nodig. Die informatie kan het systeem op twee manieren krijgen: door een contrastmeting uit te voeren of door een afstandsbepaling te doen met infrarood.

- Bij een contrastmeting meet de camera van een horizontale rij pixels hoeveel contrast er tussen opeenvolgende pixels zit. Bij een vage foto veranderen de pixels geleidelijk van donker naar licht. Bij een scherpe foto is het contrast



veel groter. Tijdens het scherpstellen laat het motortje de lens heen en weer bewegen, totdat het contrast maximaal is.

- Het infraroodsysteem maakt gebruik van onzichtbare infrarode straling. Een lampje in de camera zendt ir-straling uit, die wordt weerkaatst door het voorwerp. Een ir-sensor ontvangt het weerkaatste signaal, zodat de computer de afstand tot het voorwerp kan uitrekenen. Het motortje zet de lens daarna op de juiste plek.

Een contrastmeting kan sneller uitgevoerd worden dan een afstandsmeting met ir-licht, maar werkt niet goed als er weinig licht is. Het hele beeld is dan donker en er zijn nergens sterke contrasten. Het infraroodsysteem werkt altijd, ook als er weinig licht is.

### Optische en digitale zoom

Vaak wil je het beeld 'dichterbij halen', voordat je een foto neemt. Dat dichterbij halen wordt zoomen (spreek uit: *zoemen*) genoemd. Als een camera een zoomfactor van 10× heeft, kun je het beeld 10× zo dicht naar je toe halen. In beschrijvingen van camera's vind je twee soorten zoom: optische zoom en digitale zoom.

Optische zoom maakt gebruik van de optica in de camera: het lenzensysteem dat vaak kortweg 'de lens' wordt genoemd (ook in dit artikel), maar dat in werkelijkheid uit meerdere lenzen bestaat. Met dit systeem kan de gewenste zoomfactor gerealiseerd worden, zonder dat de resolutie – en de kwaliteit – van het beeld daaronder lijdt.

Digitale zoom is iets anders. Hierbij wordt een deel uit het oorspronkelijke beeld 'geknipt' en vervolgens softwarematig vergroot. Dat gaat ten koste van de resolutie – en dus ook van de scherpte – van het beeld. Als jij een stukje uit een foto knipt en daarna uitvergroot met een fotobewerkingsprogramma, doe je eigenlijk precies hetzelfde.

Alle technologie in de camera stelt jou in staat om je te concentreren op het onderwerp: de scène die je fotografeert. Jij beslist wát er wordt vastgelegd en wanneer, en bepaalt zo de compositie van het beeld. Dat kan geen camera, hoeveel technologie die ook bevat, van je overnemen.



**WEETJE**

Het verplaatsen van de lens om scherp te stellen komt ook in de natuur voor: vissen en kikkers stellen scherp door de afstand tussen de ooglens en het netvlies te variëren. Als een vis wil focussen op iets wat zich vlak voor hem bevindt, trekt een speciale spier de ooglens iets naar voren, zodat de afstand lens-netvlies groter wordt.

**Opgaven**

**1** Xavier heeft een camera van 5,1 MP. Hij bekijkt de foto's op een beeldscherm met een resolutie van 1280 × 1024.
Kan dit beeldscherm de foto's van Xaviers camera even scherp weergeven als ze in werkelijkheid zijn? Leg uit.

**2** Als het voorwerp voor de lens veel horizontale lijnen heeft, lukt het een camera soms niet om scherp te stellen.
Leg uit hoe dat komt.

**3** Als je een foto met anderen deelt op internet, is het aan te raden de resolutie eerst flink te verlagen. Vaak doet de applicatie die je gebruikt, dat uit zichzelf al.
Welke twee voordelen heeft het om de resolutie te verlagen?





# 4 Energie

## Verwarmen en isoleren

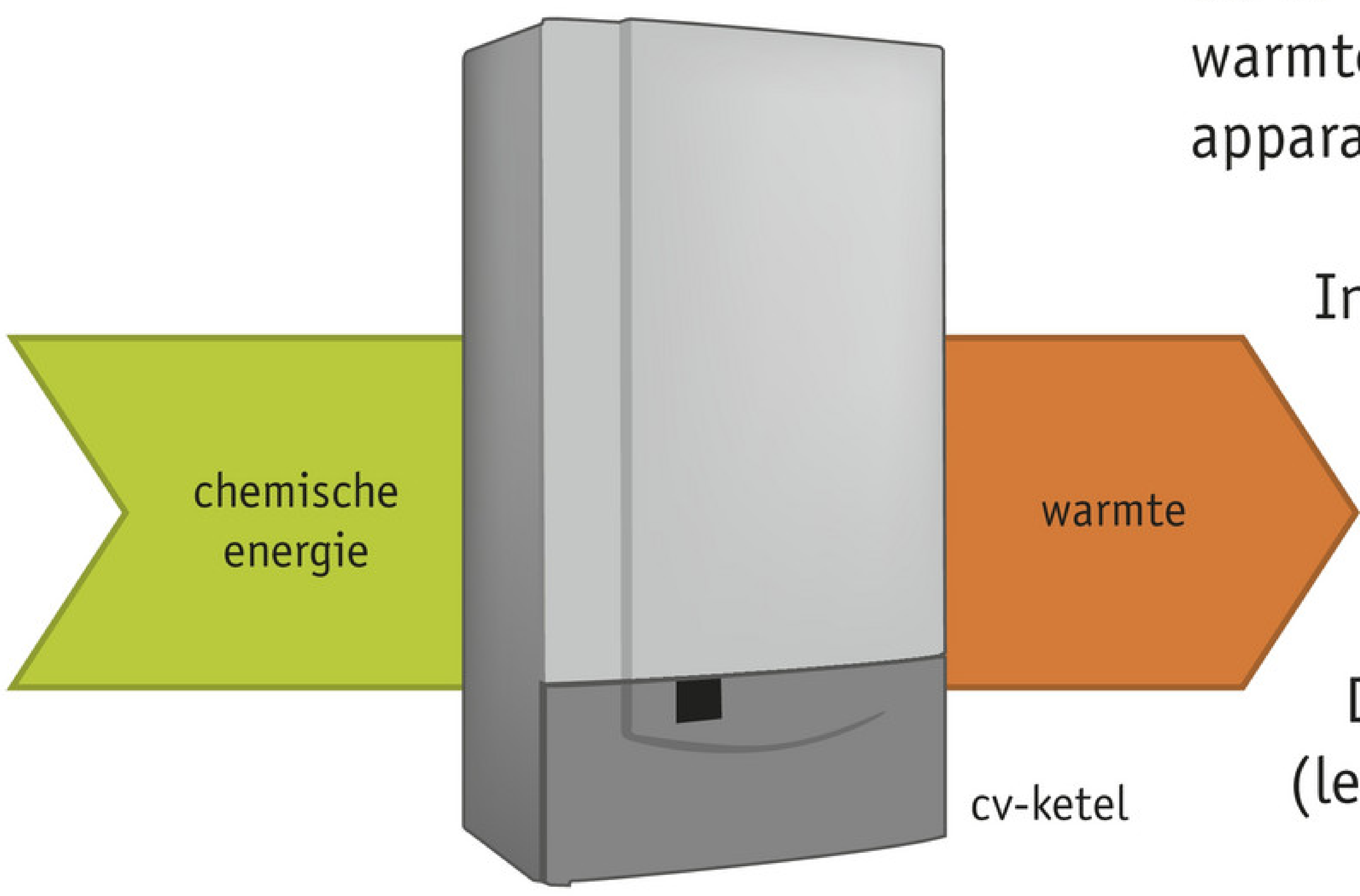
**Mensen willen comfortabel wonen. Ook al is het buiten koud, binnen moet het lekker warm zijn. Tegelijk willen mensen hun energierekening laag houden. Dat is niet alleen goed voor hun portemonnee, maar ook voor het milieu.**

# 1 Verwarmen

**Door heel Nederland liggen de leidingen van het aardgasnetwerk. Via dit netwerk worden huishoudens en bedrijven voorzien van chemische energie. Een flink deel van die energie wordt gebruikt in warmtebronnen, zoals ovens, ketels en kachels. Die leveren de warmte die nodig is om gebouwen te verwarmen, water heet te maken en voedsel te bereiden.**

## Warmtebronnen

Als je in huis rondkijkt, kom je daar verschillende **warmtebronnen** tegen. De cv-ketel levert de warmte waarmee het huis wordt verwarmd. Andere warmtebronnen zijn de kookplaat, de oven, de waterkoker, het soldeer-apparaat, de föhn en de wasdroger.




▲ **figuur 1**
het energie-stroomdiagram van een cv-ketel

In de verwarmingsketel van een cv-installatie wordt aardgas verbrand. Daarbij wordt de **chemische energie** in de brandstof omgezet in **warmte**. Zo'n **energie-omzetting** kun je weergeven in een **energie-stroomdiagram**, zoals in figuur 1 is getekend. De pijl links stelt de energie voor die de warmtebron opneemt (verbruikt). De pijl rechts stelt de energie voor die de warmtebron afstaat (levert).

Natuurkundigen hebben ontdekt dat de hoeveelheid energie bij een energie-omzetting niet verandert. Bepaalde soorten energie verdwijnen, andere soorten energie komen daarvoor in de plaats, maar de totale hoeveelheid energie blijft steeds even groot. Daarom zijn de pijlen in een energie-stroomdiagram links en rechts even breed: dat geeft aan dat er in totaal niets bij komt en niets af gaat.

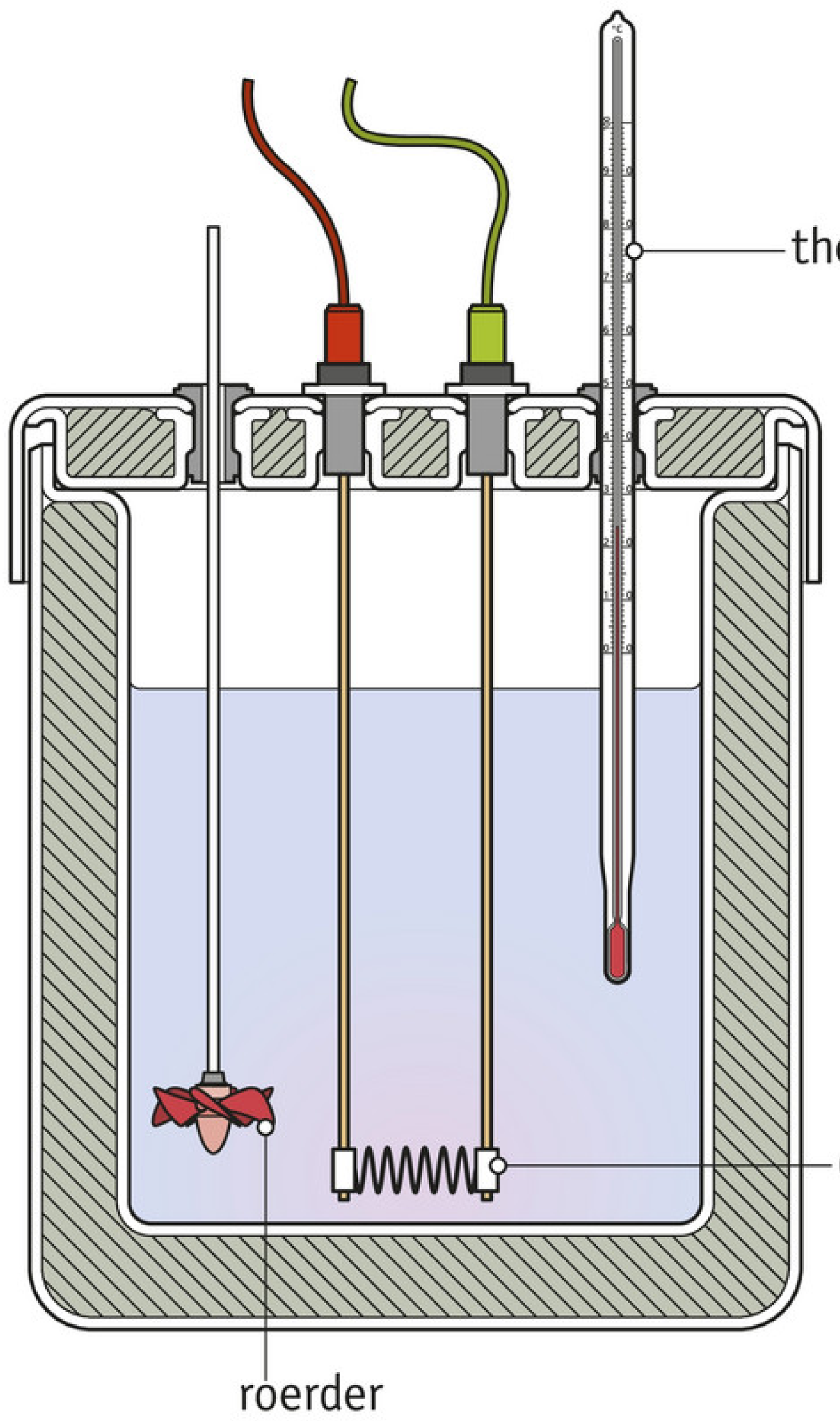


▲ **figuur 2**
water verwarmen voor een kop thee

## Warmte en temperatuur

De meeste warmtebronnen die je thuis tegenkomt, werken op elektrische energie. Denk aan de waterkoker waarmee je water aan de kook brengt voor een kop thee (figuur 2). De elektrische energie die zo'n warmtebron verbruikt, wordt helemaal omgezet in warmte: voor elke joule verbruikte elektrische energie krijg je een joule warmte terug.

Als je water verwarmt in een waterkoker, stijgt de temperatuur van het water in enkele minuten van circa 20 °C naar 100 °C. Dat de temperatuur stijgt, betekent dat de gemiddelde snelheid van de watermoleculen toeneemt. De warmte die het water opneemt, wordt gebruikt om de watermoleculen sneller te laten bewegen. Daar is energie voor nodig, net zoals jij stevig moet trappen om je fiets op snelheid te brengen.



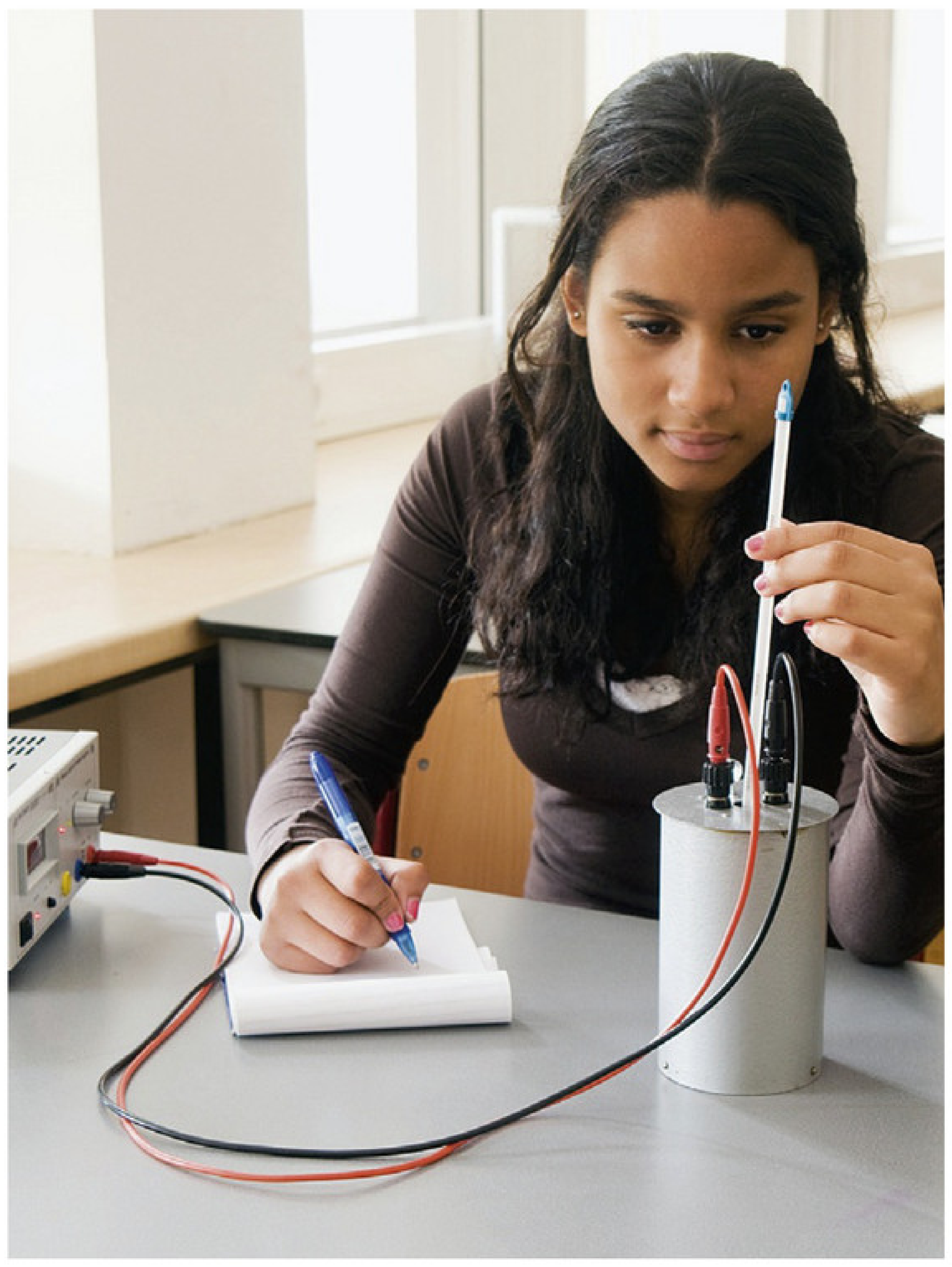

▲ **figuur 3**
een warmtemeter in doorsnede

Als het water een temperatuur van 100 °C bereikt, begint het te koken. De warmte die het water opneemt, wordt dan gebruikt om de moleculen bij elkaar vandaan te laten bewegen. Daardoor ontstaan er overal in de vloeistof bellen met waterdamp. De temperatuur van het water stijgt dan niet meer en blijft 100 °C. De meeste waterkokers schakelen zichzelf dan automatisch uit.

Hoe meer water je in een waterkoker doet, des te langer duurt het voor het water kookt. Dat komt doordat er dan meer watermoleculen zijn, waarvan de gemiddelde snelheid verhoogd moet worden. Er is dus meer warmte (energie) nodig en dat betekent dat de waterkoker – die een constant vermogen heeft – langer aan het verwarmen is.

## Proeven met een warmtemeter

Met een **warmtemeter** kun je meten hoeveel warmte nodig is voor het verwarmen van een bepaalde hoeveelheid water. In figuur 3 zie je zo'n meter in dwarsdoorsnede. Het water in het bakje wordt verwarmd met een dompelaar: een verwarmingselement dat elektrische energie omzet in warmte. Omdat het bakje goed geïsoleerd is, wordt vrijwel alle geproduceerde warmte door het water opgenomen.



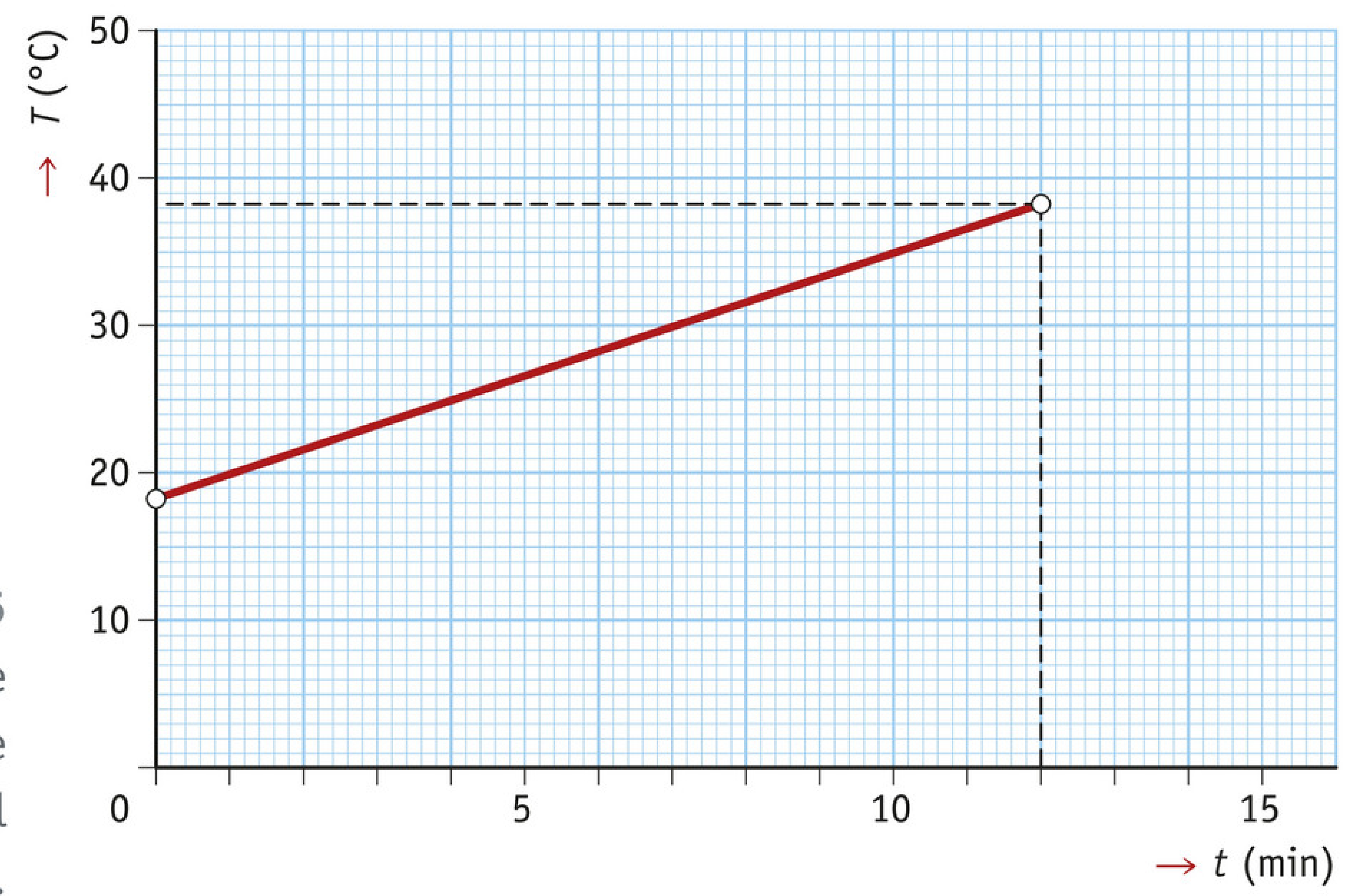
▲ **figuur 4**
Anouck doet een proef met een warmtemeter.

***Voorbeeldopgave 1***
Anouck doet 100 gram water in een warmtemeter en verwarmt het met een dompelaar van 12 W (figuur 4). Na 12 minuten is de temperatuur van het water gestegen van 19 °C naar 39 °C.
Bereken hoeveel warmte de dompelaar heeft geproduceerd.

| | |
|---|---|
| gegevens | $t$ = 12 min = 720 s<br>$P$ = 12 W |
| gevraagd | $E$ = ? |
| uitwerking | $E = P \cdot t = 12 \times 720 = 8640$ J = 8,6 kJ |

Anouck meet dus dat er ongeveer 8,6 kJ nodig is om het water 20 °C warmer te maken. In werkelijkheid is die waarde iets te hoog, omdat er ook een beetje warmte naar buiten 'lekt'. Uit nauwkeurige proeven blijkt dat er 4,2 J warmte nodig is om 1 gram water 1 °C in temperatuur te laten stijgen. Het maakt daarbij niet uit of de temperatuur stijgt van 11 °C naar 12 °C of van 78 °C naar 79 °C (figuur 5).

De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen, noem je de **soortelijke warmte** van die stof. De soortelijke warmte van water is dus 4,2 J/g · °C. Als symbool voor soortelijke warmte wordt de letter $c$ gebruikt. Je kunt de vorige zin dus ook als volgt schrijven: $c_{water}$ = 4,2 J/g · °C. De soortelijke warmte is een stofeigenschap: elke stof heeft zijn eigen soortelijke warmte.




▶ **figuur 5**
Tijdens het verwarmen stijgt de temperatuur regelmatig: voor elke graad temperatuurstijging is evenveel warmte nodig.

## Rekenen met soortelijke warmte Proef 1 en 2

Uit de definitie van soortelijke warmte kun je de volgende formule afleiden:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Met deze formule kun je berekenen hoeveel warmte er nodig is om een hoeveelheid stof te verwarmen tot een bepaalde temperatuur. Zoals je ziet, wordt de benodigde hoeveelheid warmte Q bepaald door drie factoren:

- de soort stof: elke stof heeft zijn eigen soortelijke warmte $c$;
- de hoeveelheid stof: de massa $m$ is daar een maat voor;
- de gewenste temperatuurstijging: $\Delta T = T_{eind} - T_{begin}$.

Als je $c$ invult in J/g · °C, $m$ in g en $\Delta T$ in °C, dan vind je $Q$ in J.

***Voorbeeldopgave 2***
Een waterkoker (1600 W) verwarmt 1,5 L water van 20 °C tot 100 °C. Bereken hoeveel minuten de waterkoker daarover doet. Ga ervan uit dat alle elektrische energie wordt gebruikt om het water te verwarmen.

1 Bereken hoeveel warmte de waterkoker moet leveren.
De massa van 1,5 L water is afgerond $1{,}5 \cdot 10^3$ g. Het water stijgt 80 °C in temperatuur.

gegevens
$c = 4{,}2$ J/g · °C
$m = 1{,}5 \cdot 10^3$ g
$\Delta T = 80$ °C

gevraagd
$Q = ?$

uitwerking
$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}2 \times 1{,}5 \cdot 10^3 \times 80$
$= 5{,}04 \cdot 10^5$ J warmte

2 Bereken de benodigde tijd.
De waterkoker moet dus $5{,}04 \cdot 10^5$ J elektrische energie omzetten in $5{,}04 \cdot 10^5$ J warmte.

gegeven $E = 5{,}04 \cdot 10^5$ J
$P = 1600$ W

gevraagd $t = ?$

uitwerking $E = P \cdot t$
$5{,}04 \cdot 10^5 = 1600 \times t$

$$t = \frac{5{,}0 \cdot 10^5}{1600} = 315 \text{ s} = 5 \text{ min en (circa) } 15 \text{ s}$$

## Plus Joule en calorie

Natuurkundigen hebben lang niet geweten dat elektrische energie en warmte beide vormen van energie zijn. Voor warmte bestond daarom een aparte eenheid: de calorie (cal), gedefinieerd als: de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 gram water 1 graad Celsius in temperatuur te laten stijgen. Deze definitie is erg handig als je metingen doet met een warmtemeter.

Uit nauwkeurige proeven bleek dat er voor het ontstaan van 1 cal warmte altijd dezelfde hoeveelheid elektrische energie nodig was: 4,184 J of afgerond 4,2 J. Door dit soort proeven raakten natuurkundigen ervan overtuigd dat warmte een vorm van energie is, die je net als elektrische energie kunt meten in joule. Het voordeel van één eenheid voor energie is dat je dan niet meer hoeft om te rekenen van de ene eenheid naar de andere.

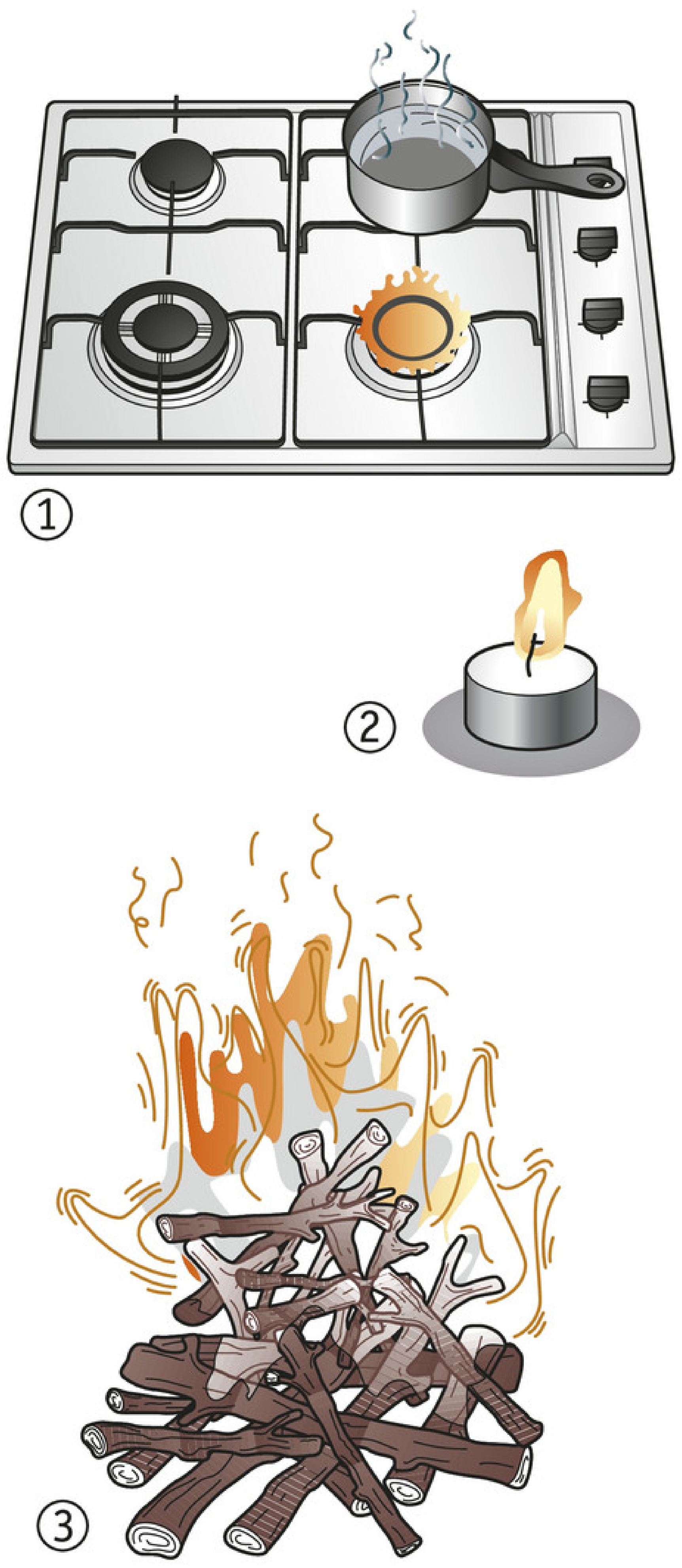
Het heeft ongeveer honderd jaar geduurd voordat dit idee in de praktijk werd gebracht. Maar vanaf 1 januari 1978 is de joule in Nederland de enig wettelijke erkende eenheid van energie (en dus ook van warmte). De calorie mocht vanaf dat moment niet meer gebruikt worden. Een uitzondering werd gemaakt voor de verpakkingen van levensmiddelen. Daarop wordt de energiewaarde zowel in kJ als in kcal (figuur 6) vermeld.




▲ figuur 6
Op etiketten wordt de energiewaarde zowel in kJ als in kcal opgegeven.

**opgaven**

## Leerstof




▲ **figuur 7**
drie warmtebronnen

**1** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Op welke twee soorten energie werken de warmtebronnen die je thuis gebruikt?
- **b** Welke energie-omzetting vindt er plaats in de ketel van de centrale verwarming?
- **c** Waarom zijn de pijlen in een energie-stroomdiagram links en rechts even breed?
- **d** Wat wordt bedoeld met 'de soortelijke warmte van water is 4,2 J/g·°C'?

**2** Bekijk de afbeelding van de warmtemeter in figuur 3.
Leg uit:
- **a** op welke manier het water in een warmtemeter wordt verwarmd.
- **b** hoe wordt voorkomen dat er warmte uit de warmtemeter 'weglekt'.
- **c** wat je moet doen om de warmte zo gelijkmatig mogelijk te verdelen.
- **d** hoe je de temperatuur van het water in de warmtemeter kunt meten.

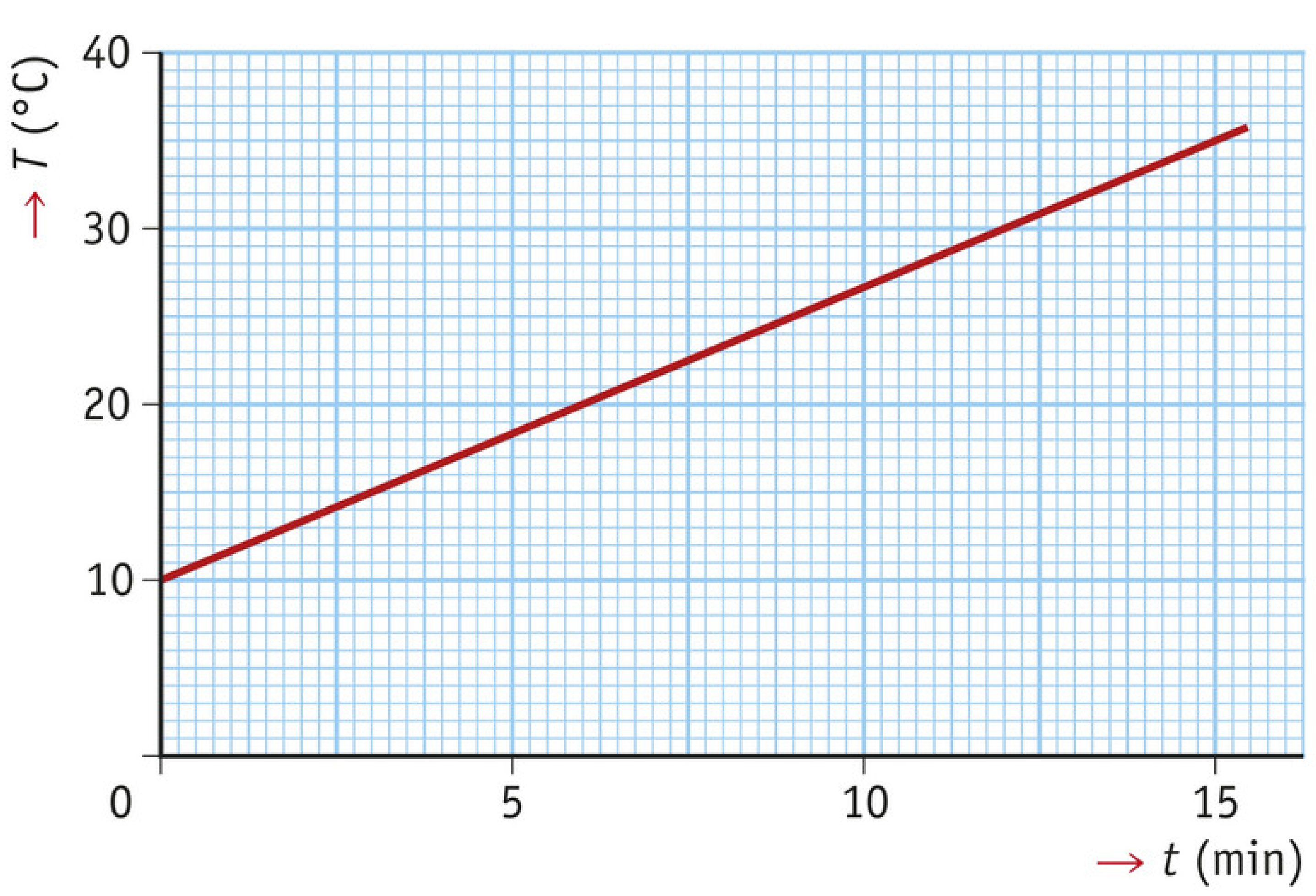
## Toepassing

**3** In figuur 7 zie je drie warmtebronnen.
- **a** Schrijf van elke warmtebron op welke brandstof erin wordt verbrand.
- **b** Hoe heet de vorm van energie die deze warmtebronnen verbruiken?

**4** Bij deze opgave heb je werkblad 4-1 nodig.
- **a** Maak het energie-stroomdiagram op het werkblad af.
- **b** Schrijf in de pijlen hoe het soort energie heet:
  - dat de waterkoker opneemt;
  - dat de waterkoker afgeeft.

**5** Bij deze opgave heb je werkblad 4-2 nodig.
Epke verwarmt 100 mL water met een brander. Om de 30 s meet hij de temperatuur. Op het werkblad is een grafiek afgedrukt van zijn meetresultaten.
Daarna verwarmt Epke 150 mL water. De gasbrander brandt met een even grote en hete vlam als de eerste keer. Ook nu meet hij om de 30 s de temperatuur.
Schets op het werkblad de grafiek van deze proef (met 150 mL water).

▼ **figuur 8**
de grafiek van Leontien




**6** Leontien heeft 150 g water verwarmd in een warmtemeter. In figuur 8 zie je de grafiek die ze van haar proef heeft gemaakt.
- **a** Zie vaardigheid 3 achter in het boek.
Bereken hoeveel warmte het water in 15 min opneemt.

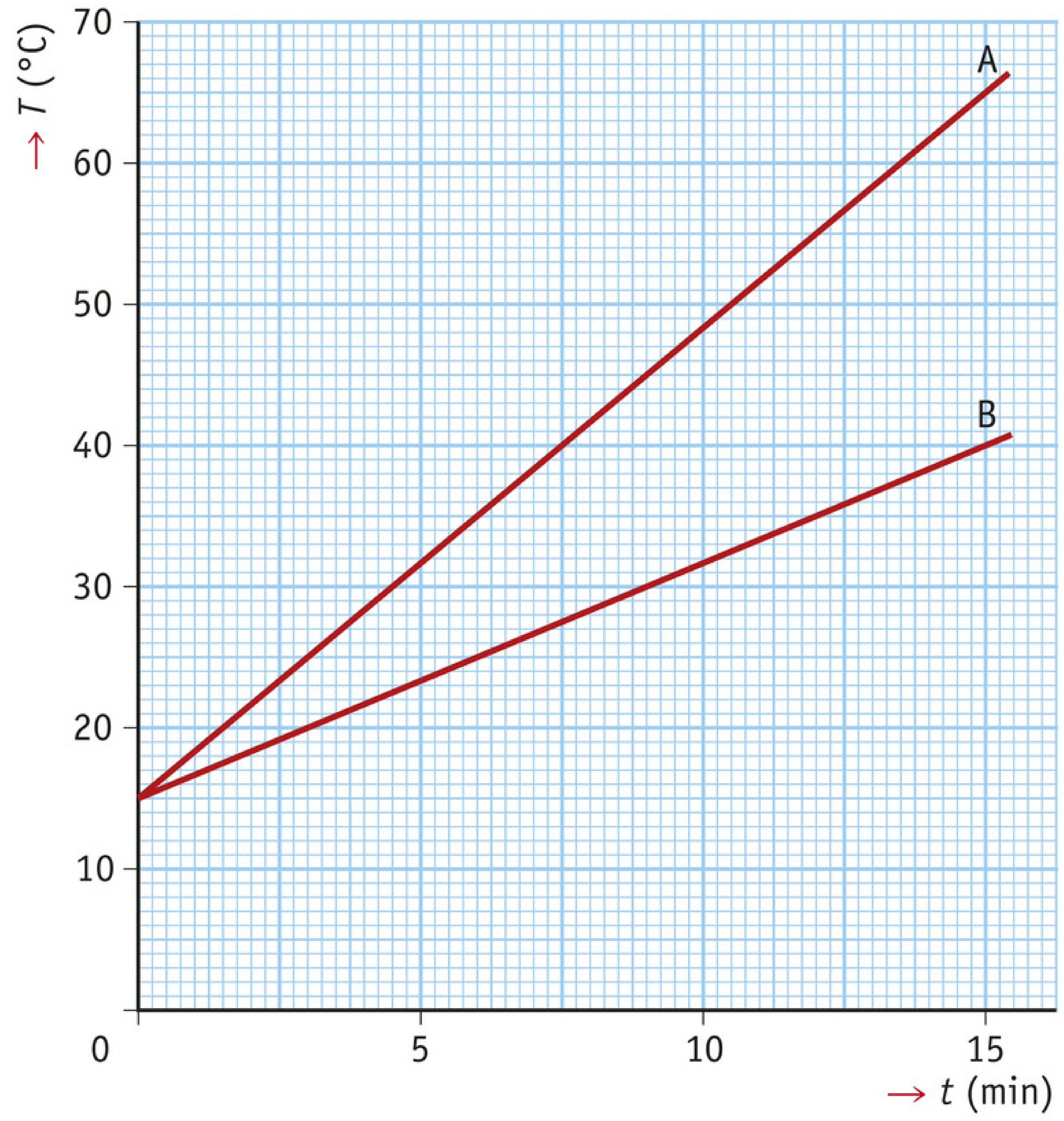
**Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.**

- **b** Bereken het vermogen van het verwarmingselement.
- **c** Je uitkomst bij b zal iets te laag zijn, vergeleken met het werkelijke vermogen.
Waaraan ligt dat?

**7** Jos heeft eerst 100 g van vloeistof A verwarmd in een warmtemeter, en daarna 100 g van vloeistof B. Hij heeft in beide gevallen hetzelfde verwarmingselement van 12 W gebruikt. In figuur 9 zie je de grafiek die hij van de twee proeven heeft gemaakt.

**a** Welke vloeistof heeft de grootste soortelijke warmte? Waaraan zie je dat?

**b** Welke van deze twee vloeistoffen zou water kunnen zijn? Laat zien hoe je aan dit antwoord komt.




▶ **figuur 9**
de grafiek van Jos

**ELEKTRISCHE WATERKOKER**
- inhoud 1,7 liter
- 2200 W
- afneembare kan
- droogkookbeveiliging
- waterpeilindicator
- fraai design
- één jaar garantie



◀ **figuur 10**
een snelkoker of een langzaamkoker?

***8** Joan vult de waterkoker in figuur 10 helemaal met water van 20 °C. Daarna zet ze het apparaat aan.
Bereken hoelang het op zijn minst duurt voordat het water kookt.

## Plus Joule en calorie

**9** In de theorie staat over de definitie van de calorie: “Deze definitie is erg handig als je metingen doet met een warmtemeter.”
Leg uit waarom die definitie zo handig is (zelf bedenken).

***10** Zoek op internet informatie over de energiewaarde van voedsel.

**a** Hoe groot is de energiewaarde van:
- koolhydraten?
- vetten?
- eiwitten?
- alcohol?

**b** In welke eenheden wordt de energiewaarde uitgedrukt?

**c** Hoe kun je van de ene eenheid omrekenen naar de andere?

# 2 Energiebronnen



▲ **figuur 11**
een kolengestookte elektriciteitscentrale op de Maasvlakte bij Rotterdam

**In Nederland wordt gebruikgemaakt van allerlei energiebronnen: sommige heel grootschalig (zoals aardgas), andere op bescheiden schaal (zoals aardwarmte). Elke energiebron heeft zijn eigen voor- en nadelen.**

## Wat is een energiebron?

Alles wat een bruikbaar soort energie kan leveren, noem je een **energiebron**. In een energiebron is een soort energie opgeslagen die door een energie-omzetter gebruikt kan worden:

- Een cv-ketel kan de chemische energie van aardgas gebruiken.
- Een zonnecel kan de stralingsenergie van zonlicht gebruiken.
- Een windmolen kan de bewegingsenergie van stromende lucht gebruiken.

Aardgas, zonlicht en wind zijn dus voorbeelden van energiebronnen: het zijn leveranciers van een bruikbaar soort energie.

## Vijf energiebronnen

Hieronder staan vijf energiebronnen die in Nederland gebruikt worden. De lijst is niet volledig en de energiebronnen zijn ook niet allemaal even belangrijk. In de toekomst zullen de ‘alternatieve’ energiebronnen waarschijnlijk belangrijker worden en fossiele brandstoffen minder belangrijk.

### Fossiele brandstoffen

**Fossiele brandstoffen** zoals aardolie, aardgas en steenkool leveren chemische energie. Aardolieproducten worden op grote schaal gebruikt in de scheepvaart (stookolie), het wegvervoer (benzine en dieselolie) en de luchtvaart (kerosine). Aardgas wordt gebruikt voor het verwarmen van huizen en andere gebouwen. Steenkool wordt in Nederland gebruikt in een aantal elektriciteitscentrales (figuur 11).

### Biomassa

**Biomassa** is materiaal dat van planten en dieren afkomstig is. Je kunt denken aan snoei- en afvalhout, plantenresten en koeien- en kippenmest, maar ook aan gewassen zoals koolzaad en maïs. Sommige soorten biomassa kunnen direct verbrand worden. Mest kan vergist worden in een biogasinstallatie. Hierbij ontstaat een gasvormig product: biogas. Biogas lijkt qua samenstelling sterk op aardgas. Het kan voor dezelfde doelen gebruikt worden.



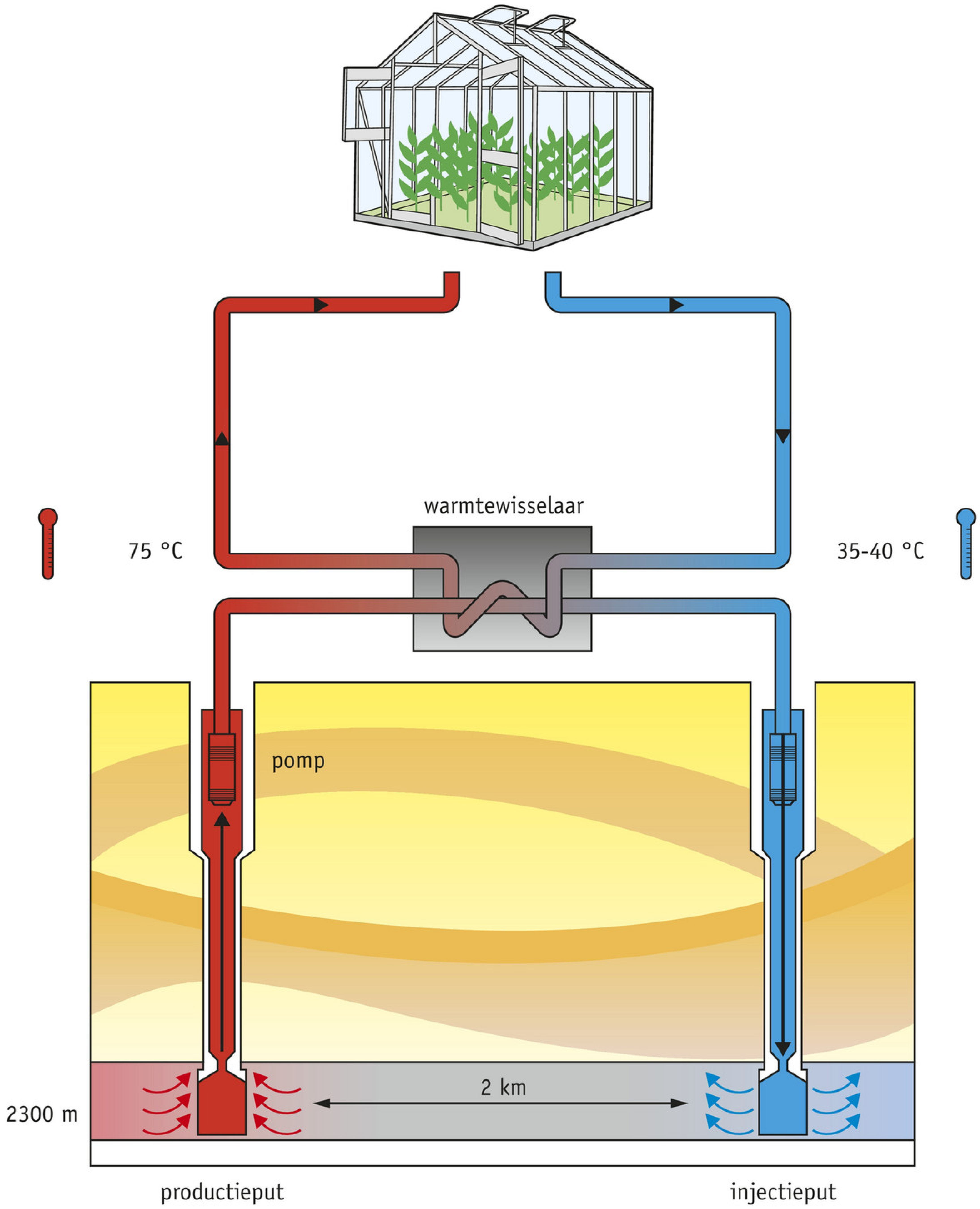
▲ **figuur 12**
Zo worden zonnepanelen gemonteerd.

### Zonlicht

Zonlicht is een bron van **stralingsenergie**. Die stralingsenergie kan door een **zonnecollector** omgezet worden in warmte waarmee water verhit kan worden. Je kunt de stralingsenergie van het zonlicht ook door **zonnecellen** laten omzetten in elektrische energie. Steeds meer mensen laten panelen met zonnecellen op het dak van hun huis of schuur aanbrengen (figuur 12).

### Aardwarmte

Hoe dieper je in de aarde komt, des te hoger wordt de temperatuur. Het is mogelijk om warmte die afkomstig is uit diepe aardlagen, naar het oppervlak te halen. Voor de winning van deze **aardwarmte** worden twee putten gebruikt (figuur 13). Via de eerste put wordt heet water uit de diepte omhoog gepompt. Dit hete water wordt door een **warmtewisselaar** geleid, waar het een deel van zijn warmte afgeeft. Daarna wordt het via de tweede put weer teruggepompt de bodem in.




▶ **figuur 13**
Aardwarmte wordt onder andere gebruikt om kassen te verwarmen.




▲ figuur 14
Plannen voor windenergie leiden vaak tot protesten.

**Wind**
Vroeger stonden er in Nederland meer dan 9000 windmolens. Tegenwoordig is wind opnieuw een belangrijke energiebron. Je ziet steeds meer grote windturbines in het landschap verschijnen. Zo'n windturbine drijft een generator aan die in de molen is ingebouwd. Op die manier wordt de **bewegingsenergie** van de wind omgezet in elektrische energie.

## Voor- en nadelen

Elke energiebron heeft voordelen en nadelen. Als je energiebronnen met elkaar vergelijkt, let je op de volgende vier punten:

**Hoeveel moet je voor de energie betalen?**
Elektriciteit uit wind is op dit moment duurder dan elektriciteit uit fossiele brandstoffen. Dat kan veranderen als de olie- en gasprijzen sterk stijgen.

**Kan de energiebron op den duur uitgeput raken?**
De voorraden fossiele brandstoffen zijn beperkt. Daar komt ooit een einde aan. Maar de wind waait steeds opnieuw en is nooit 'op'.

**Is de energiebron altijd of alleen af en toe beschikbaar?**
Een centrale die op aardgas werkt, kan dag en nacht elektrische energie leveren. Maar een windturbine staat stil als het niet waait.

**Wat zijn de gevolgen voor het milieu?**
Bij het verbranden van brandstoffen ontstaan afvalstoffen die vaak slecht zijn voor het milieu. Windturbines hebben andere nadelen, zoals horizonvervuiling en geluidshinder (figuur 14).

## Plus Hoe 'groen' is biomassa?



▲ figuur 15
een wintervoorraad brandhout

Biomassa wordt vaak een 'hernieuwbare energiebron' genoemd. Daarmee wordt bedoeld dat je de voorraad biomassa steeds opnieuw kunt aanvullen. Als je bomen kapt om als brandhout te gebruiken, kun je daarna weer nieuwe bomen aanplanten die vanzelf ook weer groot worden. Als je je bos verstandig beheert (en het groot genoeg is), hoeft er aan je voorraad brandhout nooit een einde te komen (figuur 15).

Toch is het gebruik van biomassa niet per definitie goed voor het milieu. Dat hangt er maar van af hoe de biomassa geproduceerd, getransporteerd, bewerkt en gebruikt wordt. De teelt van sommige 'energiegewassen' vraagt bijvoorbeeld veel bestrijdingsmiddelen – geen pluspunt voor het milieu. Over de voor- en nadelen van verschillende soorten biomassa wordt dan ook veel gediscussieerd.

## opgaven Leerstof

**11** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke fossiele brandstoffen worden veel in Nederland gebruikt?
- **b** Op welke manier kan mest gebruikt worden als energiebron?
- **c** Welke energie-omzetting vindt er plaats in een zonnecollector?
- **d** Welke nadelen hebben de moderne windturbines voor het milieu?

**12** Neem tabel 1 over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 1** vijf energiebronnen die in Nederland gebruikt worden

| energiebron | soort energie | energie-omzetter |
|---|---|---|
| | | cv-ketel |
| biomassa | | |
| zonlicht | | |
| | | warmtewisselaar |
| | bewegingsenergie | |



▲ **figuur 16**
een belangrijke energiebron in de Gouden Eeuw

## Toepassing

**13** Het schilderij in figuur 16 is gemaakt in de Gouden Eeuw.
- **a** Van welke energiebron maakt het schip gebruik?
- **b** Welk soort energie levert deze energiebron?

**14** Hieronder staan vier energiebronnen:
- aardwarmte
- fossiele brandstoffen
- windenergie
- zonne-energie

Elk van deze energiebronnen heeft voor- en nadelen.
- **a** Welke energiebron is erg schoon in het gebruik, maar veroorzaakt wel geluidshinder en horizonvervuiling?
- **b** Welke energiebron is nu nog dag en nacht beschikbaar, maar zal ooit voorgoed uitgeput raken?
- **c** Welke energiebron raakt nooit op, maar levert 's winters wel veel minder energie dan in de zomer?
- **d** Welke energiebron kan schone warmte leveren voor de tuinbouw, maar vraagt wel flinke investeringen?

**15** Lees het krantenartikel in figuur 17.
- **a** In het artikel staat dat de zonneoven het milieu spaart. Leg uit wat er precies wordt 'gespaard'.
- **b** In Afrika moeten mensen soms uren lopen om aan brandhout te komen. Dicht bij hun dorpen is geen hout meer te vinden. Hoe zou dat komen?
- **c** In het artikel worden verschillende voordelen van de zonneoven genoemd. Bedenk zelf ook een nadeel van de zonneoven.
- **d** De zonneoven heeft een deksel met dubbel glas. Waarom heeft de uitvinder voor dubbel glas gekozen en niet voor enkel glas?

## De Solar Cooker

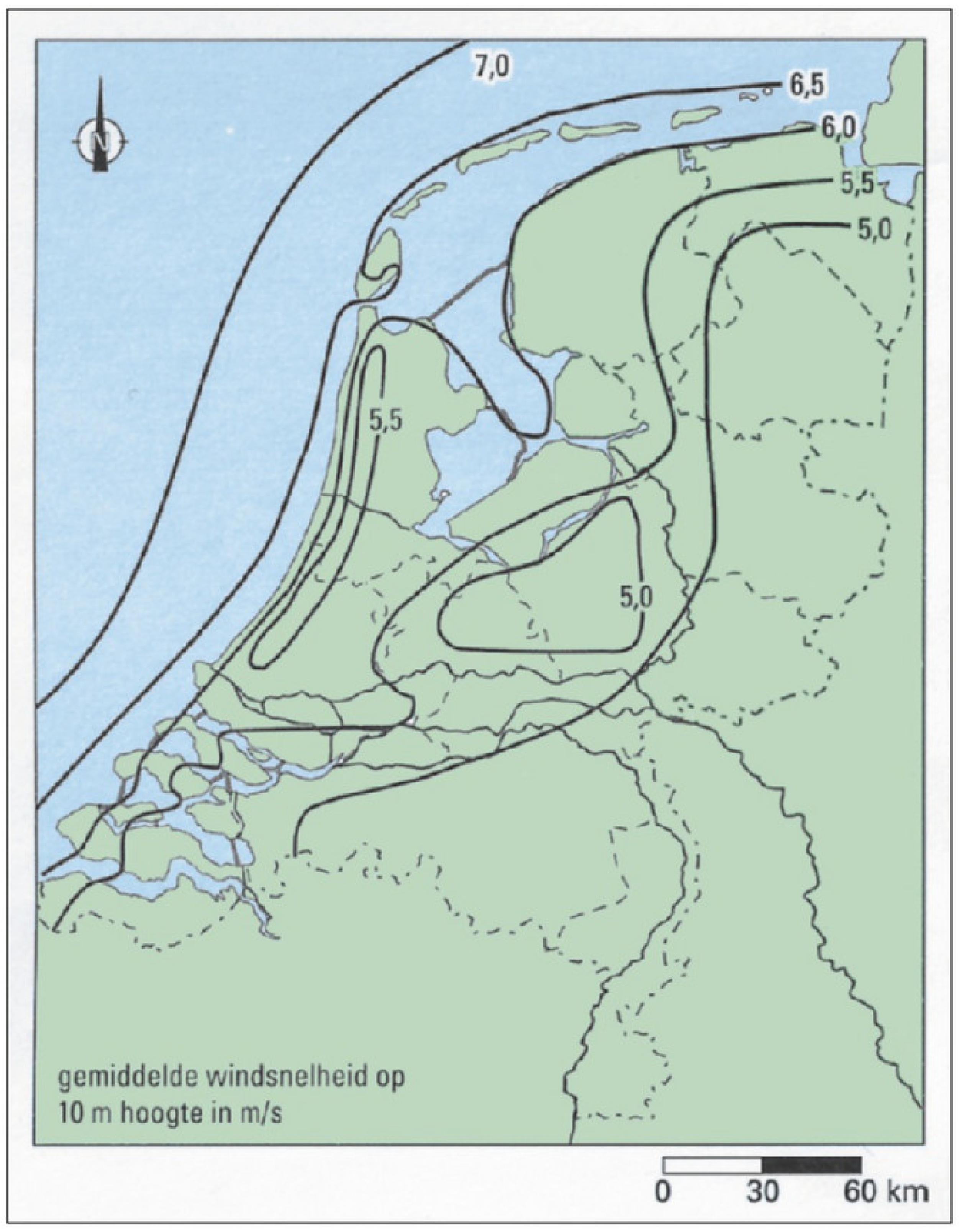
De Solar Cooker is een even eenvoudige als unieke vinding van Jan Dierkx, een 84-jarige Ermelose uitvinder. Dierkx timmerde een kist met daarin een lichtmetalen bak en een deksel van dubbel glas. Met de Hollandse zomerzon kun je er al voedsel in stoven en koken, laat staan in het zonovergoten Afrika. De oven is goedkoop, bestand tegen het Afrikaanse klimaat en kan hoge temperaturen bereiken zodat schadelijke bacteriën worden gedood. Tevens heeft hij het voordeel dat hij het milieu spaart. Een gezin hoeft niet meer uren per dag hout te sprokkelen. Per zonneoven worden er twintig bomen per jaar bespaard.



▶ **figuur 17** zonne-energie voor Afrika

**16** Het is vaak handig om een voorraad energie aan te leggen, om schommelingen in het aanbod op te kunnen vangen.
Waar en in welke vorm wordt zo'n voorraad energie opgeslagen:
- **a** door een oliemaatschappij die rekening houdt met een 'oliecrisis'?
- **b** door een aardappelplant die in de zomer veel energie 'overhoudt'?
- **c** door een beer die zich in de herfst voorbereidt op de komende winter?

**17** Nederland ligt aan de Noordzee. De gemiddelde windsnelheid in ons land is dan ook behoorlijk groot. Dat maakt Nederland geschikt om elektrische energie op te wekken met windturbines. In figuur 18 zijn gemiddelde windsnelheden gegeven. De lijnen in deze figuur verbinden plaatsen met dezelfde gemiddelde windsnelheid.
- **a** Hoe komt het dat de gemiddelde windsnelheid in het binnenland kleiner is dan in de kuststreek?
- **b** Waarom worden er niet overal in de duinen windturbines neergezet, als de windsnelheid daar zo gunstig is?
- **c** Er worden tegenwoordig ook windturbines geplaatst in de Noordzee, 10 km of meer uit de kust.
  Welke voordelen zou dat hebben? Noteer er twee.
- **d** Noteer ook een nadeel van het plaatsen van windturbines in zee (zelf bedenken).




▶ **figuur 18**
Zo hard waait het gemiddeld in Nederland.

***18** Zoek op internet informatie over een van de volgende energiebronnen:
- aardgas
- aardwarmte
- biomassa
- getijden
- steenkool
- wind
- zonlicht

Beschrijf in een kort werkstuk (maximaal twee pagina's A4):
**a** op welke manier(en) de energiebron kan worden benut.
**b** welke voordelen de energiebron heeft.
**c** welke nadelen en beperkingen de energiebron heeft.

## Plus Hoe 'groen' is biomassa?

**19** Biomassa wordt een hernieuwbare energiebron genoemd.
**a** Leg uit wat bedoeld wordt met 'hernieuwbaar'.
**b** Noteer nog drie andere hernieuwbare energiebronnen.

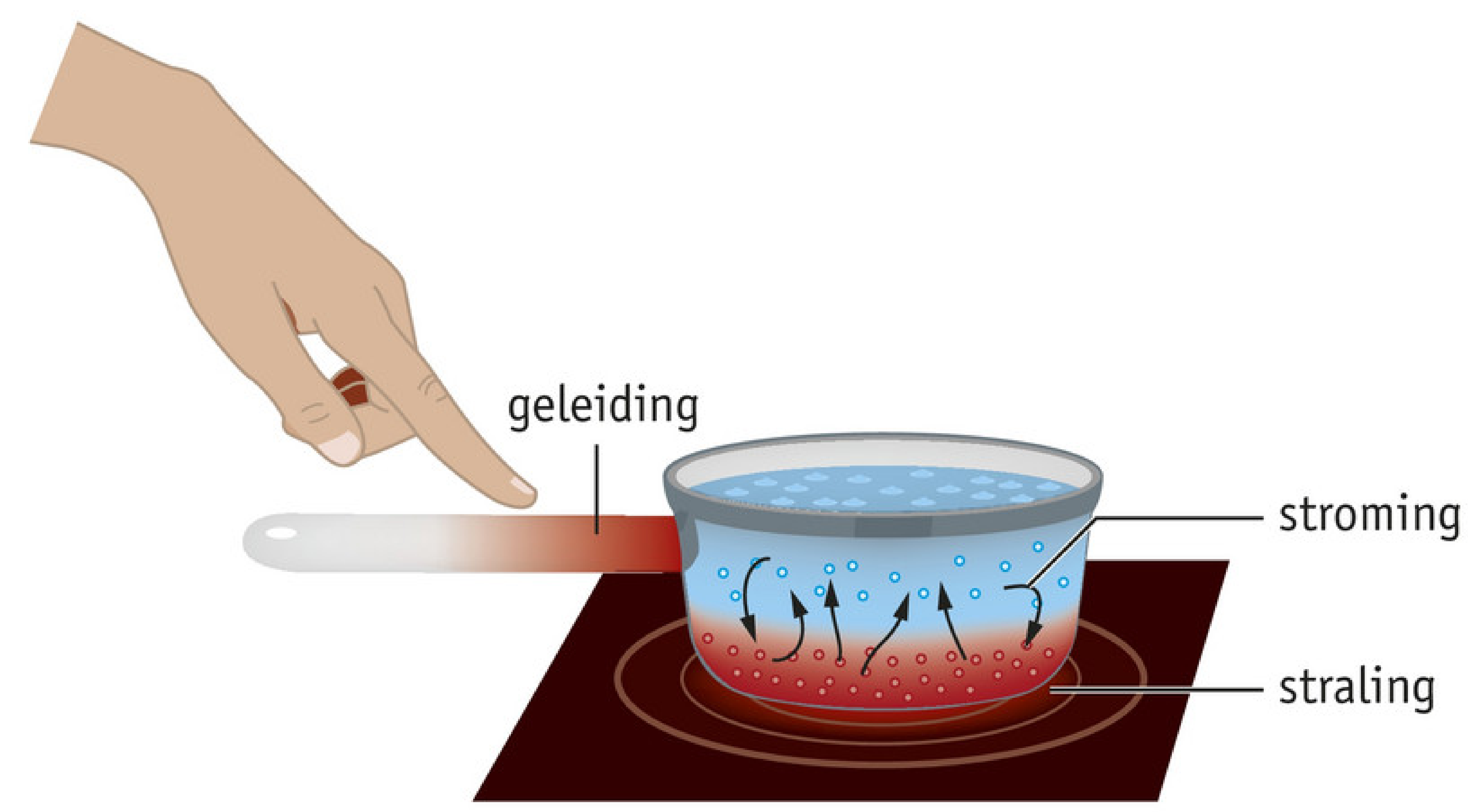
***20** Zoek op internet informatie over biomassa.
**a** Wat kan er allemaal als biomassa gebruikt (verstookt) worden? Maak een lijst.
**b** Welke gewassen worden op grote schaal verbouwd als 'energie-gewassen'?
**c** Waarom wordt er onderscheid gemaakt tussen 'goede' en 'foute' biomassa?
**d** Geef een voorbeeld van 'foute' biomassa en leg uit wat daar dan fout aan is.

# 3 Isoleren

**Als je in een koud huis de centrale verwarming aanzet, zal de temperatuur eerst stijgen. Maar na verloop van tijd verandert de temperatuur niet meer, al slaat de cv-ketel nog steeds regelmatig aan. Dat komt doordat er dan evenveel warmte naar buiten verdwijnt als de ketel produceert. Je kunt dit warmteverlies wel beperken door goed te isoleren.**

## Warmteverlies Proef 3 en 4

Als de temperatuur in huis hoger is dan de temperatuur buiten, verliest het huis voortdurend warmte aan de omgeving. Dat gaat het snelst als het waait, doordat de wind de warme(re) lucht in en rond het huis meeneemt. Maar zelfs als het helemaal windstil is, 'lekt' er voortdurend warmte weg. Dat gebeurt op drie manieren: door **geleiding**, door **stroming** en door **straling** (figuur 19).



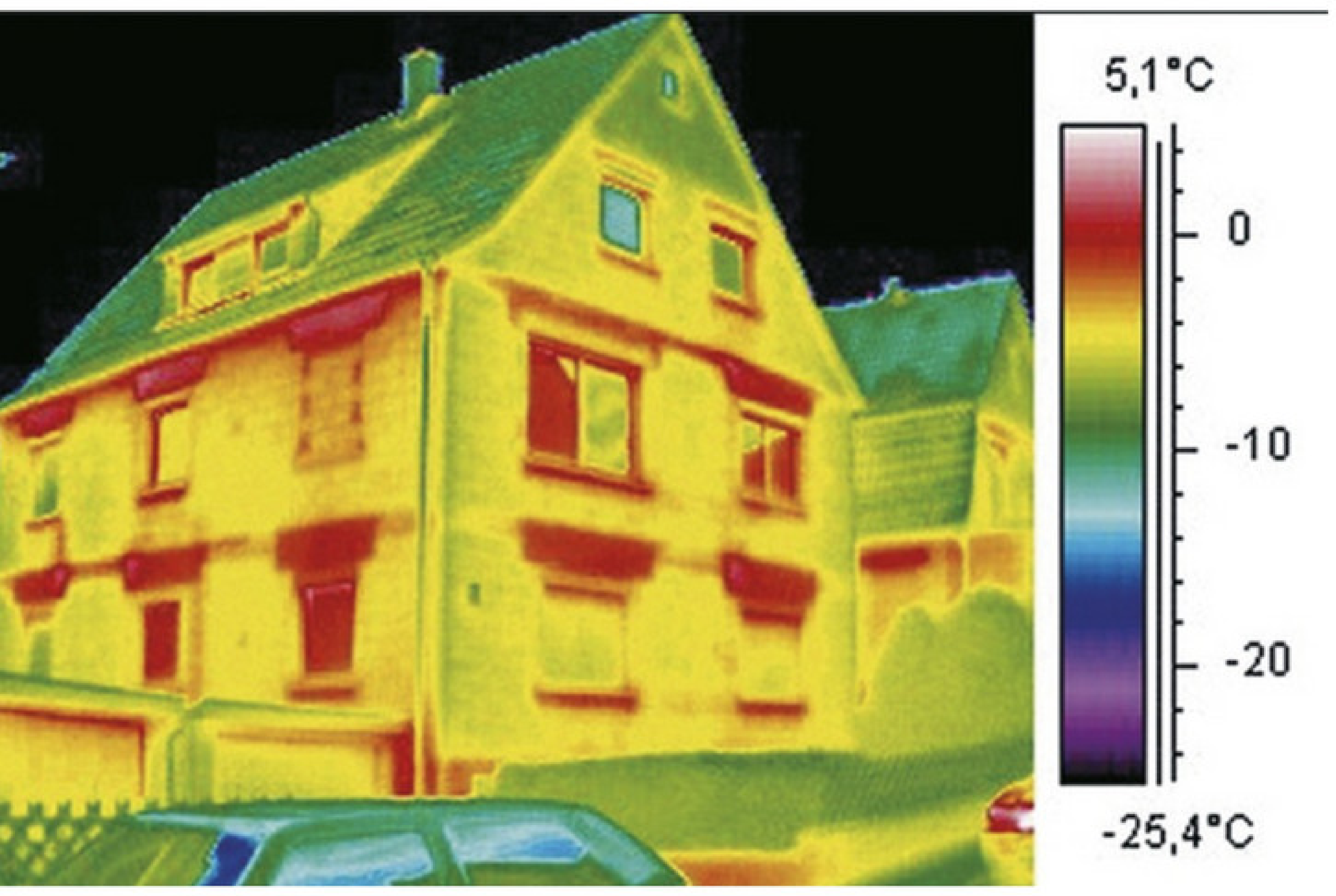

▶ **figuur 19**
geleiding, stroming en straling in de keuken

**Geleiding**

Bij geleiding beweegt de warmte door een stof, zoals baksteen of glas. Dat komt doordat de moleculen in de stof onophoudelijk met elkaar botsen. Daarbij geven ze hun bewegingsenergie aan elkaar door. Zo verspreidt de warmte zich van binnen (waar de temperatuur het hoogst is) naar buiten (waar de temperatuur lager is).

**Stroming**

In vloeistoffen en gassen kan een (convectie)stroming ontstaan, als je die op één plaats verwarmt. Dat zie je bijvoorbeeld bij de lucht in huis. De lucht bij de radiatoren wordt warm, zet uit en krijgt zo een kleinere dichtheid. De warme lucht stijgt daardoor omhoog in de omringende koudere lucht en neemt zo de warmte met zich mee.



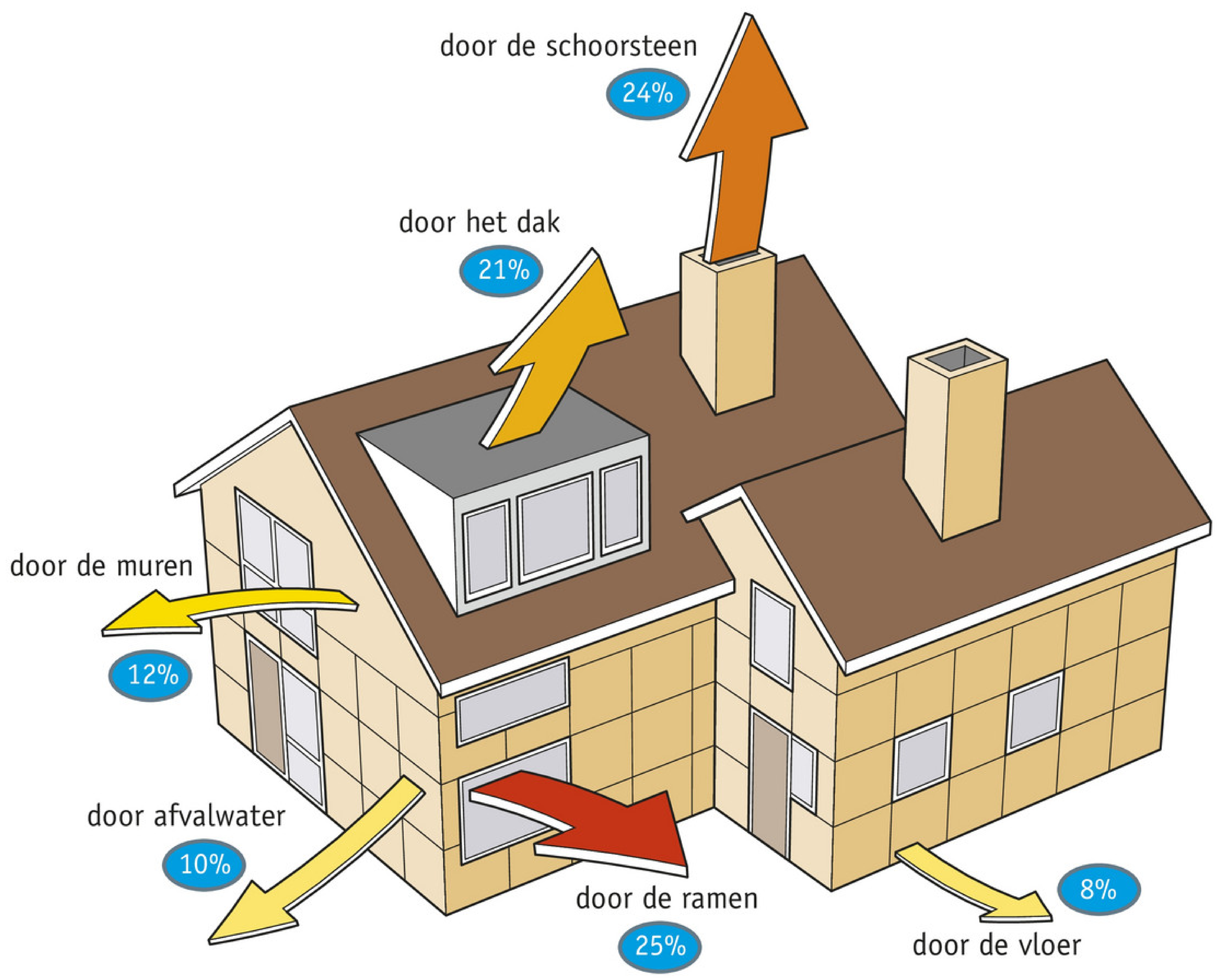

▲ **figuur 20**
Een thermogram maakt de infrarode straling zichtbaar die een huis uitstraalt.

**Straling**
Alles om je heen – ook je eigen lichaam – zendt straling uit: kleine pakketjes stralingsenergie die ongehinderd door de ruimte kunnen reizen. Hoe hoger de temperatuur van een voorwerp, des te meer stralingsenergie er wordt uitgezonden. Een warm huis raakt daardoor in de winter meer warmte kwijt dan het van de koudere omgeving terugkrijgt (figuur 20).

Geleiding, (convectie)stroming en straling zijn heel verschillende processen. Ze hebben wel alle drie hetzelfde effect: dat de warmte zich 'vanzelf' verspreidt van de plaats met de hoogste temperatuur naar plaatsen waar het kouder is. Het gevolg is dat warme voorwerpen voortdurend warmte verliezen. In de praktijk ben je die warmte dan kwijt: de energie heeft zich over zo'n groot gebied verspreid dat je er voor praktische doeleinden niets meer aan hebt.

## Het warmteverlies beperken

De warmte die uit een woonhuis naar buiten verdwijnt, moet meteen weer aangevuld worden (figuur 21). Anders daalt de temperatuur in huis steeds verder, tot het binnen even koud is als buiten. Daarom moet een cv-ketel bij koud weer voortdurend branden om de temperatuur in huis op peil te houden.




▶ **figuur 21**
het warmteverlies van een doorsnee woning

Als een huis slecht geïsoleerd is, zal er veel warmte naar buiten verdwijnen. De cv-ketel moet dan flink branden om de verloren gegane warmte weer aan te vullen. Je kunt het warmteverlies tegengaan door het huis te **isoleren**. De cv-ketel hoeft dan niet zoveel warmte te leveren om voor een aangename temperatuur te zorgen.



▲ **figuur 22**
Isolatiematerialen bestaan grotendeels uit lucht.

## Het warmtetransport door een muur

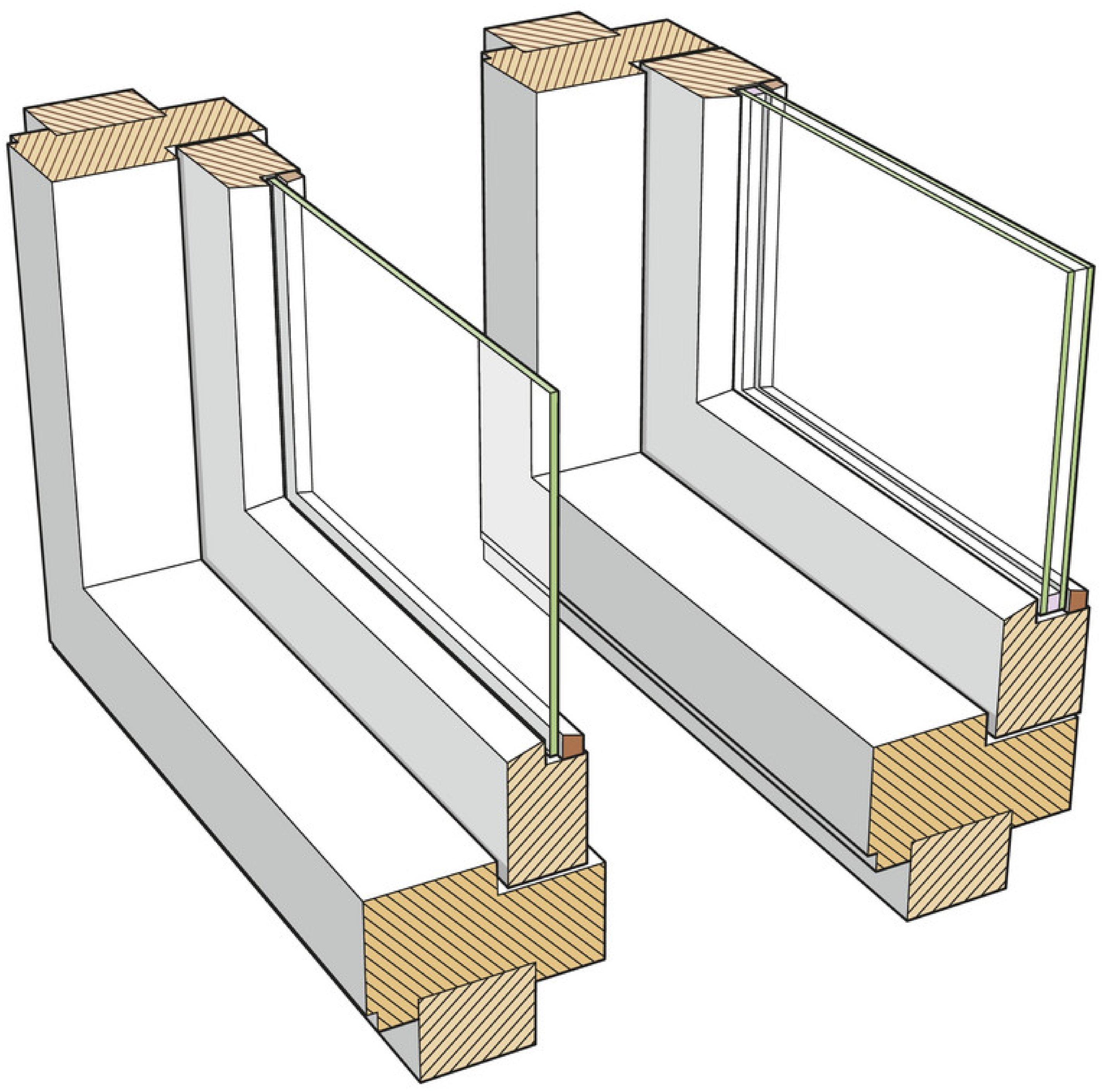
De muren van een huis worden vaak van baksteen gemaakt. Dit bouwmateriaal is een vrij goede warmtegeleider. Dat betekent dat er door de muren van een huis vrij veel warmte naar buiten kan verdwijnen.

Hoeveel warmte er in een bepaalde tijd naar buiten verdwijnt, hangt af van:
- het temperatuurverschil tussen binnen en buiten: hoe kleiner dat temperatuurverschil is, des te minder warmte naar buiten verdwijnt;
- het materiaal waarvan de muur is gemaakt: hoe slechter dat geleidt, des te minder warmte naar buiten verdwijnt;
- de dikte van de muur: hoe dikker de muur is, des te minder warmte naar buiten verdwijnt;
- de oppervlakte van de muur: hoe kleiner de oppervlakte, des te minder warmte naar buiten verdwijnt.

Je kunt het warmteverlies tegengaan door tegen de muur een laag isolatiemateriaal aan te brengen. Ook daken en vloeren worden vaak op deze manier geïsoleerd. Een 5 cm dikke laag isolatiemateriaal kan het warmteverlies door een muur vier keer zo klein maken. Isolatiematerialen zitten vol met kleine ruimtes waarin zich lucht bevindt. Omdat lucht de warmte zeer slecht geleidt, neemt het warmteverlies sterk af (figuur 22).

## Een huis isoleren

Er zijn nog meer manieren om een huis te isoleren. Bijvoorbeeld door:
- enkel glas dat de warmte erg gemakkelijk doorlaat, te vervangen door dubbel glas (figuur 23);
- de spouw (de ruimte tussen de binnenmuren en de buitenmuren) te vullen met isolatiemateriaal;
- daken en vloeren te isoleren met materialen zoals glas- en steenwol, polystyreen en luchtkussenfolie;
- cv- en warmwaterleidingen te isoleren op plaatsen waar ze door koude ruimtes lopen, zoals een garage.



▶ **figuur 23**
enkel glas (links) en dubbel glas (rechts)

***Voorbeeldopgave 3***
Ina leest in een folder dat je met het isoleren van cv-leidingen veel energie kunt besparen: zo'n 10 $m^3$ aardgas per meter leiding per jaar.
1 $m^3$ aardgas levert $32 \cdot 10^6$ J warmte.
Ina isoleert 15 m cv-leiding in haar huis.
Hoeveel warmte bespaart ze daarmee per jaar?

gegevens — 1 m leiding isoleren bespaart 10 $m^3$ aardgas per jaar
1 $m^3$ aardgas levert $32 \cdot 10^6$ J aan warmte.

gevraagd — de besparing aan warmte per jaar

uitwerking — 15 meter leiding isoleren bespaart $15 \times 10 = 150$ $m^3$ aardgas per jaar.
Dat komt overeen met $150 \times 32 \cdot 10^6 \approx 4{,}8 \cdot 10^9$ J = 4,8 GJ aan warmte.

## Plus Eenergieneutraal wonen

In een gemiddeld woonhuis wordt flink wat chemische en elektrische energie verbruikt. Dat merken de bewoners als ze de meterstanden opnemen voor de jaarlijkse energierekening. Het elektriciteitsverbruik van een gemiddeld huishouden was in 2013 3500 kWh en het gemiddelde gasverbruik 1600 $m^3$. Dat leverde een totale energierekening op van ruim € 1.900,- (inclusief vastrecht, prijspeil 2013).



▲ **figuur 24**
een experimenteel (bijna) energieneutraal huis

De bewoners kunnen hun energierekening naar beneden krijgen door hun huis goed te isoleren. Zo kunnen ze voorkomen dat er onnodig veel aardgas wordt verbruikt. Steeds meer mensen kiezen er ook voor om zelf in een deel van hun energiebehoefte te voorzien. Dat kan bijvoorbeeld door zonnepanelen of zonnecollectoren op het dak te laten plaatsen. Al die maatregelen leiden ertoe dat de energierekening lager wordt.

De overheid wil dat gebouwen in de toekomst **energieneutraal** zijn. Dat wil zeggen dat een gebouw – over het hele jaar gerekend – netto evenveel energie opwekt als verbruikt (figuur 24). Het mag wel energie 'van buitenaf' gebruiken, als het daar maar evenveel energie voor teruggeeft. Een huiseigenaar kan bijvoorbeeld het aardgasverbruik compenseren door 'zonnestroom' te leveren aan het elektriciteitsnet.

## opgaven Leerstof

**21** Beantwoord de volgende vragen.

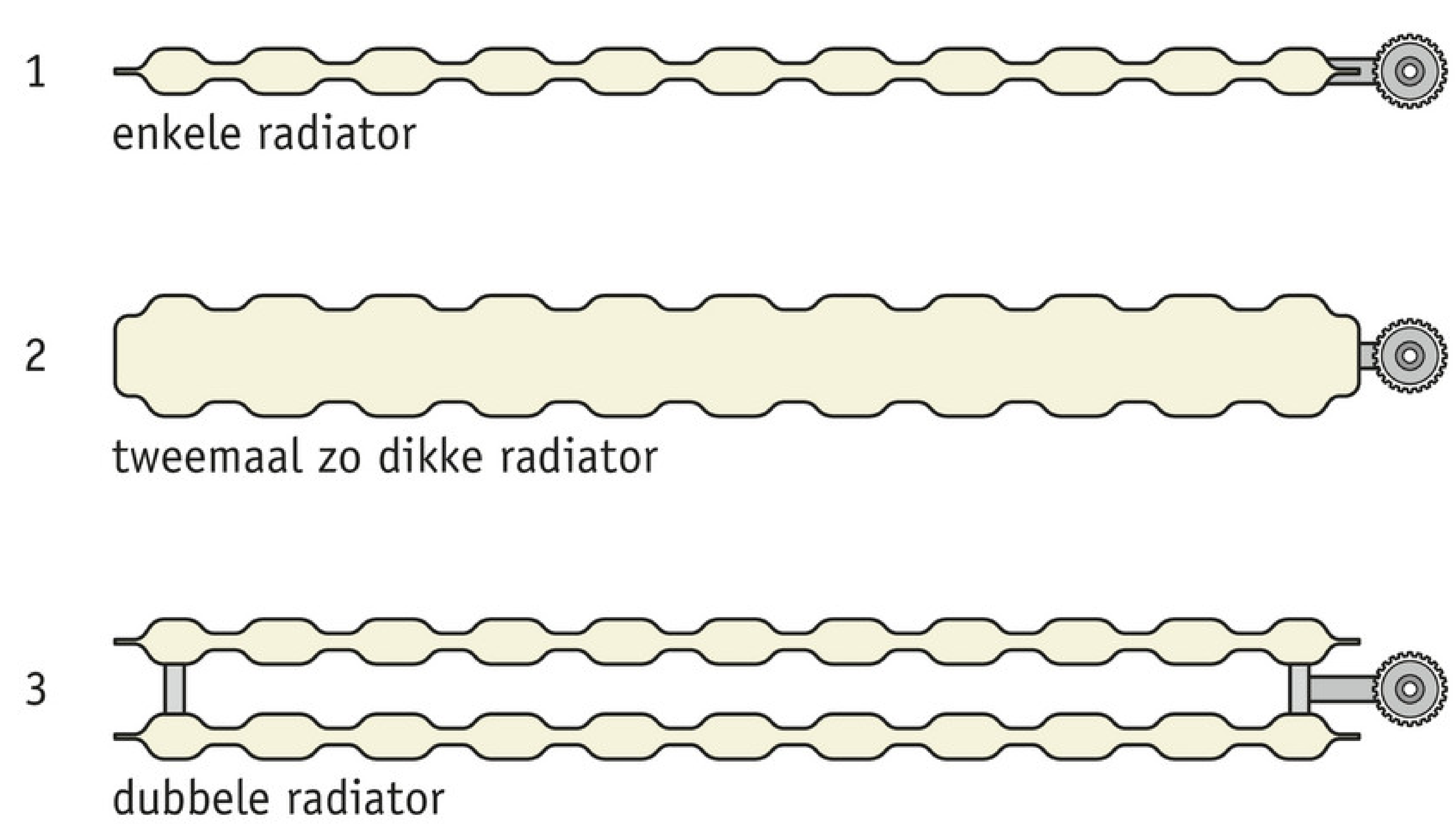
- **a** In welke richting verspreidt de warmte zich bij geleiding, stroming en straling?
- **b** Hoe komt het dat je de warmte die een huis verliest, niet kunt hergebruiken?
- **c** Waarom slaat een cv-ketel bij koud weer telkens na een poosje opnieuw aan?
- **d** Waarom bestaat een isolatiemateriaal zoals piepschuim grotendeels uit lucht?

**22** De temperatuur in een kamer die door een kachel wordt verwarmd, blijft niet voortdurend stijgen.
Hoe komt het dat de temperatuur op een gegeven moment niet verder stijgt?

**23** Door een muur verdwijnt er per seconde een bepaalde hoeveelheid warmte naar buiten.
Van welke vier factoren hangt het af hoeveel warmte naar buiten 'weglekt?

## Toepassing

**24** In figuur 25 zijn drie typen radiatoren getekend. De radiatoren zijn even lang en even hoog. Ze zijn gevuld met warm water van dezelfde temperatuur. Ook is de temperatuur in de omgeving van elk van de radiatoren even hoog.
Leg uit welke radiator per minuut de meeste warmte zal afstaan.




▶ **figuur 25**
Welke radiator maakt een vertrek het snelst warm?

**25** Liefhebbers van natuurijs hebben een hekel aan sneeuw. Als er een dikke laag sneeuw op het ijs ligt, groeit het nauwelijks meer aan, ook al vriest het hard.
Leg uit waardoor het ijs ondanks de strenge vorst toch niet dikker wordt.

## SPOUWMUURISOLATIE: PRIMA IDEE!

Een 'lege' spouwmuur isoleert minder goed dan veel mensen denken. Gemiddeld verdwijnt er door één vierkante meter spouwmuur 580 MJ warmte per jaar. Dat komt overeen met circa 18 m³ aardgas. Een goed geïsoleerde spouwmuur laat veel minder warmte door. Het warmteverlies door zo'n muur bedraagt slechts 260 MJ (8 m³ aardgas) per vierkante meter per jaar. Het is dus beslist aan te raden om uw spouwmuren te isoleren. U kunt er honderden euro's per jaar mee besparen.



▲ **figuur 26**
een gedeelte uit een folder over spouwmuurisolatie

**26** Sebastiaan heeft een oud huis gekocht, waarvan de spouwmuren niet geïsoleerd zijn. In een folder leest hij dat zulke muren slecht isoleren (figuur 26).

**a** Hoeveel warmte verdwijnt er volgens de folder per jaar:
- door 1 m² van een niet-geïsoleerde spouwmuur?
- door 1 m² van een goed geïsoleerde spouwmuur?

**b** Sebastiaan laat de spouwmuren van zijn huis (in totaal 55 m²) degelijk isoleren.
Hoeveel warmte verdwijnt er daardoor per jaar minder naar buiten?

**c** Hoeveel m³ aardgas bespaart Sebastiaan op deze manier ieder jaar?

**d** Met hoeveel euro gaat Sebastiaans jaarlijkse energierekening naar beneden? 1 m³ aardgas kost € 0,65 (inclusief btw en energiebelasting, prijspeil 2013).

**e** In de folder staat dat je met spouwmuurisolatie 'honderden euro's per jaar kunt besparen'.
Ben jij het met deze uitspraak eens? Licht je antwoord toe.

### U-waarde

De term 'U-waarde' is een maat voor het warmteverlies van een constructie zoals een dak, raam of vloer. Er bestaat een vuistregel om met behulp van de U-waarden een schatting te maken van het aardgasverbruik. Die regel luidt als volgt:
*Het aantal kubieke meter aardgas dat per stookseizoen naar buiten verdwijnt door één vierkante meter (dak, wand of raam), is gelijk aan 10 × U.*

Enkele voorbeelden:
- raam van enkel glas: U = 6
- raam van dubbel glas: U = 3
- ongevulde spouwmuur: U = 1,8
- gevulde spouwmuur: U = 0,8

▲ **figuur 27**
een website over de U-waarde van ramen en muren

***27** Suzanne heeft een oud huisje gekocht met ruiten van enkel glas. Op een website leest ze dat er door enkel glas veel warmte verloren gaat (figuur 27).

**a** De ruiten van Suzannes huisje hebben een totale oppervlakte van 14 m².
Reken uit hoeveel m³ aardgas er per stookseizoen door de ramen verloren gaat.

**b** Suzanne besluit om het enkel glas overal te vervangen door dubbel glas.
Reken uit hoeveel m³ aardgas Suzanne daardoor per stookseizoen bespaart.

**c** Dubbel glas kost € 100,- per m². Aardgas kost € 0,65 per m³ (prijspeil 2013).
Bereken hoelang het duurt voordat Suzanne de kosten van het dubbel glas heeft terugverdiend (ervan uitgaand dat de gasprijs niet verandert).

***28** Voor brandweerlieden zijn speciale beschermende pakken ontwikkeld waarmee ze desnoods dwars door de vlammen kunnen lopen.

- **a** De buitenkant van zo'n pak is van een licht, glanzend materiaal gemaakt.
  Leg uit waarom voor dit materiaal gekozen is.
- **b** De onderste laag bestaat uit een donsachtig materiaal dat veel lucht bevat.
  Leg uit waarom voor dit materiaal gekozen is.

## Plus Energieneutraal wonen

**29** Een energieneutraal huis heeft aan één kant vaak grote ramen. Door die ramen kan er zelfs midden in de winter nog warmte naar binnen komen.

- **a** Welke energiebron verwarmt het huis dan?
- **b** Welke vorm van warmtetransport brengt de warmte het huis binnen?
- **c** Aan welke kant kan een raam daarvoor het best zitten: aan de noord-, de zuid-, de oost- of de westkant?
- **d** Aan welke kant van het huis kun je het best alleen kleine ramen hebben?
- **e** Waarom worden alle ramen van een energieneutraal huis voorzien van goed isolerend dubbel glas?

**30** De bovenverdieping van het huis in figuur 24 steekt aan één kant een flink eind uit.
Leg uit:

- **a** waarom alleen de zuidkant van het huis zo'n uitstekend gedeelte heeft.
- **b** hoe het komt dat er 's zomers maar weinig zonlicht het huis binnenkomt.
- **c** hoe het komt dat de bewoners 's winters wel 'veel zon in huis' hebben.
- **d** welke voordelen deze manier van bouwen heeft voor de energierekening.

**31** Zoek op internet informatie over een (bijna) energieneutraal woonhuis.

- **a** Welke maatregelen brengen het verbruik van energie in huis naar beneden?
- **b** Welke maatregelen leveren (netto) energie op die in huis gebruikt kan worden?
- **c** Wordt er energie 'van buitenaf' gebruikt? Wat levert het huis daarvoor terug?
- **d** Heeft het wonen in een energieneutraal woonhuis ook nadelen en zo ja, welke?

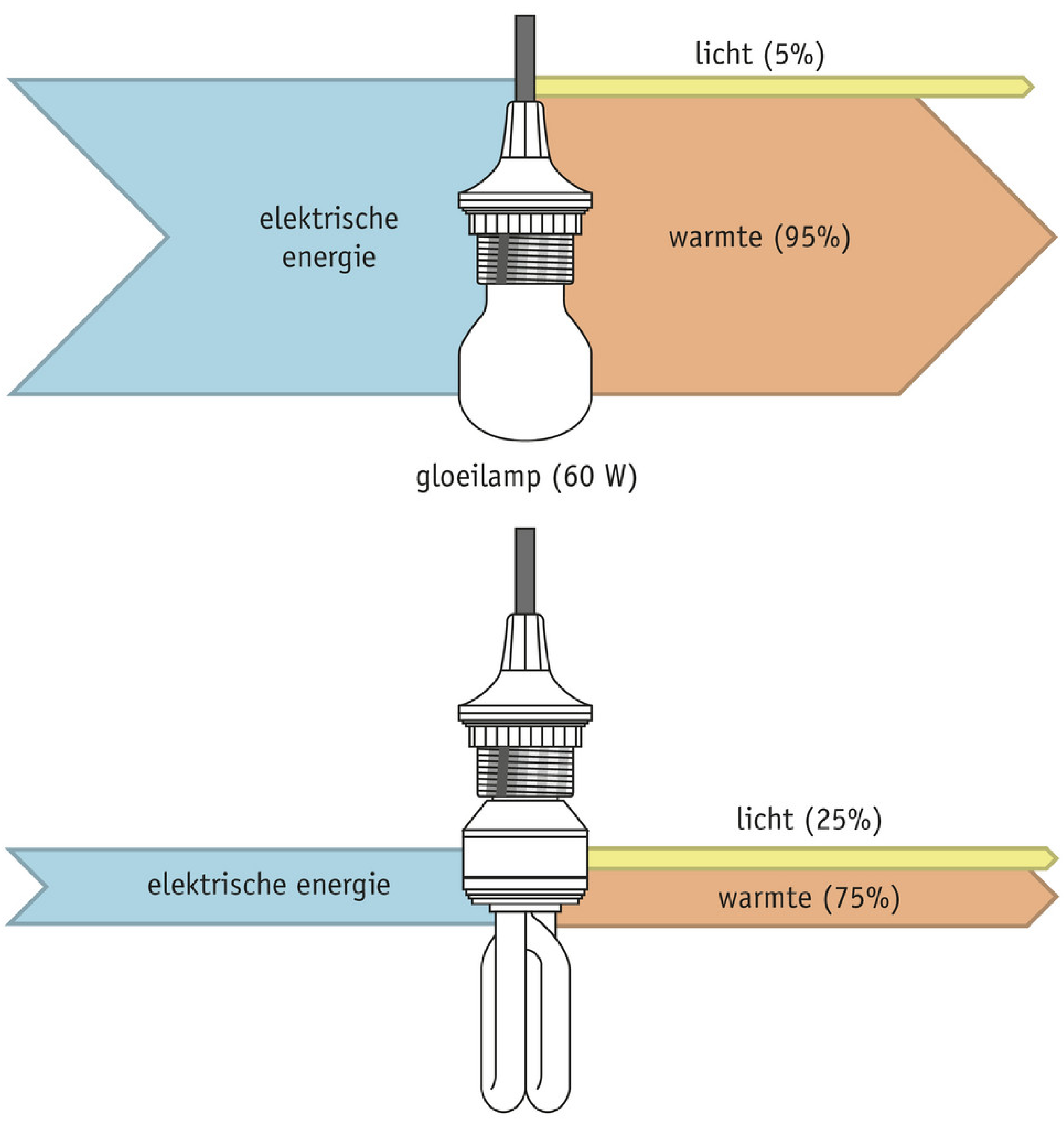
# 4 Rendement

**Zuinig zijn met elektrische of chemische energie heeft verschillende voordelen. Je kunt er geld mee besparen, je draagt eraan bij dat de voorraden aardgas en steenkool minder snel opraken en je helpt om de milieuproblemen te verminderen.**

## Energie besparen

Aan de formule $E = P \cdot t$ kun je zien dat er twee manieren zijn om energie te besparen. Je kunt het vermogen $P$ kleiner maken door energiezuinige apparaten te kopen, zoals een hr-ketel of een energiezuinige wasdroger. Je kunt de tijd $t$ kleiner maken door de apparaten in huis minder vaak of minder lang te gebruiken. Als je de thermostaat lager zet bijvoorbeeld, zal de cv minder vaak aanslaan en dus minder aardgas gebruiken.

Op zich zegt het niet zoveel dat apparaat A een kleiner vermogen heeft dan apparaat B. Zo'n vergelijking heeft alleen zin als de twee apparaten een vergelijkbare prestatie leveren. Je kunt bijvoorbeeld het vermogen vergelijken van twee lampen die evenveel licht geven: een gloeilamp en een spaarlamp. Je ziet dan dat een spaarlamp een veel kleiner vermogen heeft dan een vergelijkbare gloeilamp. Omdat het verschil zo groot is, mogen gloeilampen tegenwoordig zelfs niet meer verkocht worden!




▶ **figuur 28**
twee energie-stroomdiagrammen

In figuur 28 zie je de energie-stroomdiagrammen van een gloeilamp en een spaarlamp. Een gloeilamp zet maar 5% van de elektrische energie om in licht; de rest wordt omgezet in warmte. Je zegt dat een gloeilamp een **rendement** heeft van 5%. Een spaarlamp doet het beter: die zet 25% van de elektrische energie om in licht. Zo'n lamp heeft dus een rendement van 25%.

## Het rendement berekenen Proef 5

Je kunt het rendement van een apparaat berekenen met de formule:

$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$$

$E_{nut}$ is de hoeveelheid energie die nuttig wordt gebruikt. Bij een lamp is dat de hoeveelheid energie die wordt omgezet in licht. $E_{tot}$ is de hoeveelheid energie die in totaal wordt opgenomen. Bij een lamp is dat de opgenomen elektrische energie.

Je krijgt natuurlijk ook een goede uitkomst, als je invult:
– hoeveel energie er per seconde nuttig wordt gebruikt;
– hoeveel energie er per seconde in totaal wordt opgenomen.

Met andere woorden: je kunt het rendement ook berekenen door het nuttige vermogen te delen door het totale vermogen.

$$\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\%$$



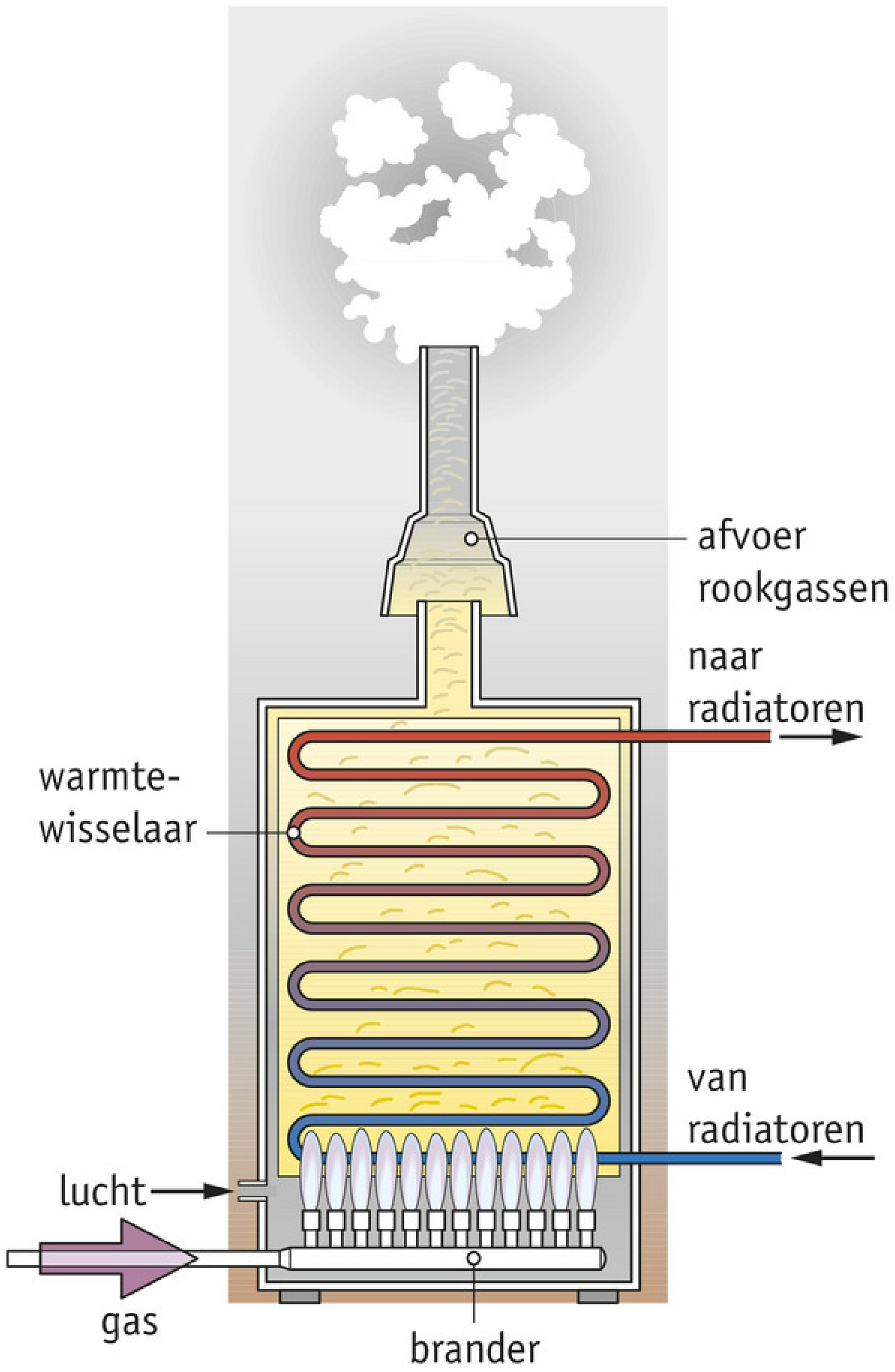
▲ **figuur 29**
Het dak van deze berghut biedt ruimte aan drie zonnepanelen van 1,8 $m^2$.

***Voorbeeldopgave 4***
Als de zon volop schijnt, is het ingestraalde vermogen 1000 $W/m^2$. Een zonnepaneel met een oppervlak van 1,8 $m^2$ levert dan een vermogen van 210 W (figuur 29).
Bereken het rendement van dit zonnepaneel.

gegevens $P_{tot} = 1{,}8 \times 1000 = 1800$ W
$P_{nut} = 210$ W

gevraagd $\eta = ?$

uitwerking $\eta = \frac{P_{nut}}{P_{tot}} \cdot 100\% = \frac{210}{1800} \cdot 100\% \approx 12\%$




▲ **figuur 30**
de dwarsdoorsnede van een cv-ketel

## Het rendement van een cv-ketel

In de verwarmingsketel van een cv-installatie wordt aardgas verbrand (figuur 30). De hete verbrandingsgassen die daarbij ontstaan, stromen langs buizen waar water doorheen stroomt: de warmtewisselaar. Ze staan daarbij een deel van hun warmte aan het water af. De overblijvende warmte verdwijnt met de verbrandingsgassen naar buiten.

Om $E_{tot}$ (de totale hoeveelheid opgenomen energie) van een cv-ketel te bepalen, moet je weten hoeveel warmte het verbrande aardgas heeft geleverd. Om dat te kunnen berekenen, heb je twee gegevens nodig: het volume van het aardgas dat is verbrand (in $m^3$) en de **verbrandingswarmte** van deze brandstof. Het aardgas in Nederland heeft een verbrandingswarmte van 32 $MJ/m^3$. Dat betekent dat er 32 MJ (32 miljoen joule) warmte vrijkomt als je 1 $m^3$ aardgas verbrandt.

Om $E_{nut}$ (de hoeveelheid nuttig gebruikte energie) te bepalen, moet je weten hoeveel warmte door het water is opgenomen. Om daar achter te komen, meet je de massa $m$ en de temperatuurstijging $\Delta T$ van het verwarmde water. Daarna kun je de hoeveelheid warmte die het water heeft opgenomen, berekenen met $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

Als je $E_{tot}$ en $E_{nut}$ kent, kun je ten slotte het rendement van de cv-ketel berekenen. Uit proeven blijkt dat de cv-ketels van vijftig jaar geleden een rendement hadden van circa 65%. Het rendement van een moderne hr-ketel (hr betekent 'hoog rendement') ligt boven de 90%.

***Voorbeeldopgave 5***

Een combiketel verbrandt in 4,0 min 0,12 $m^3$ aardgas. In die 4,0 min wordt 11 L water verwarmd van 18 °C tot 72 °C. Zie figuur 31 op de volgende bladzijde. Bereken het rendement van de combiketel.

1 Bereken $E_{tot}$ = hoeveel warmte het aardgas heeft geleverd.

gegevens: Er is 0,12 $m^3$ aardgas verbrand.
De verbrandingswarmte van aardgas is 32 $MJ/m^3$.

gevraagd: $E_{tot} = ?$

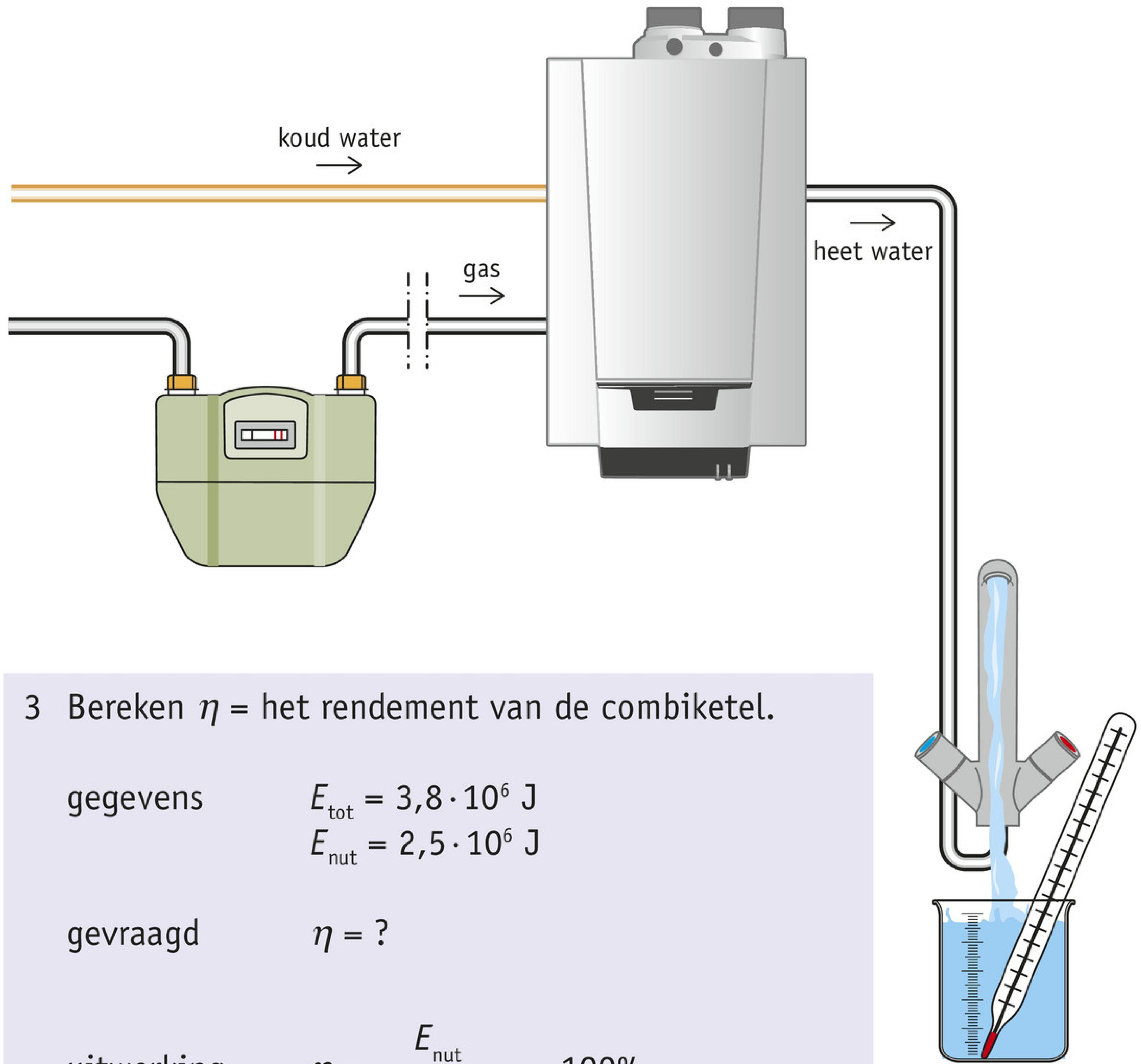
uitwerking: $E_{tot} = 0{,}12 \times 32 \approx 3{,}8$ MJ

2 Bereken $E_{nut}$ = hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

gegevens: De massa $m$ van 11 L water = $1{,}1 \cdot 10^4$ g.
De temperatuurstijging $\Delta T = 72 - 18 = 54$ °C.
De soortelijke warmte $c$ van water = 4,2 J/g·°C.

gevraagd: $E_{nut} = ?$

uitwerking: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4{,}2 \times 1{,}1 \cdot 10^4 \times 54 \approx 2{,}5 \cdot 10^6$ J



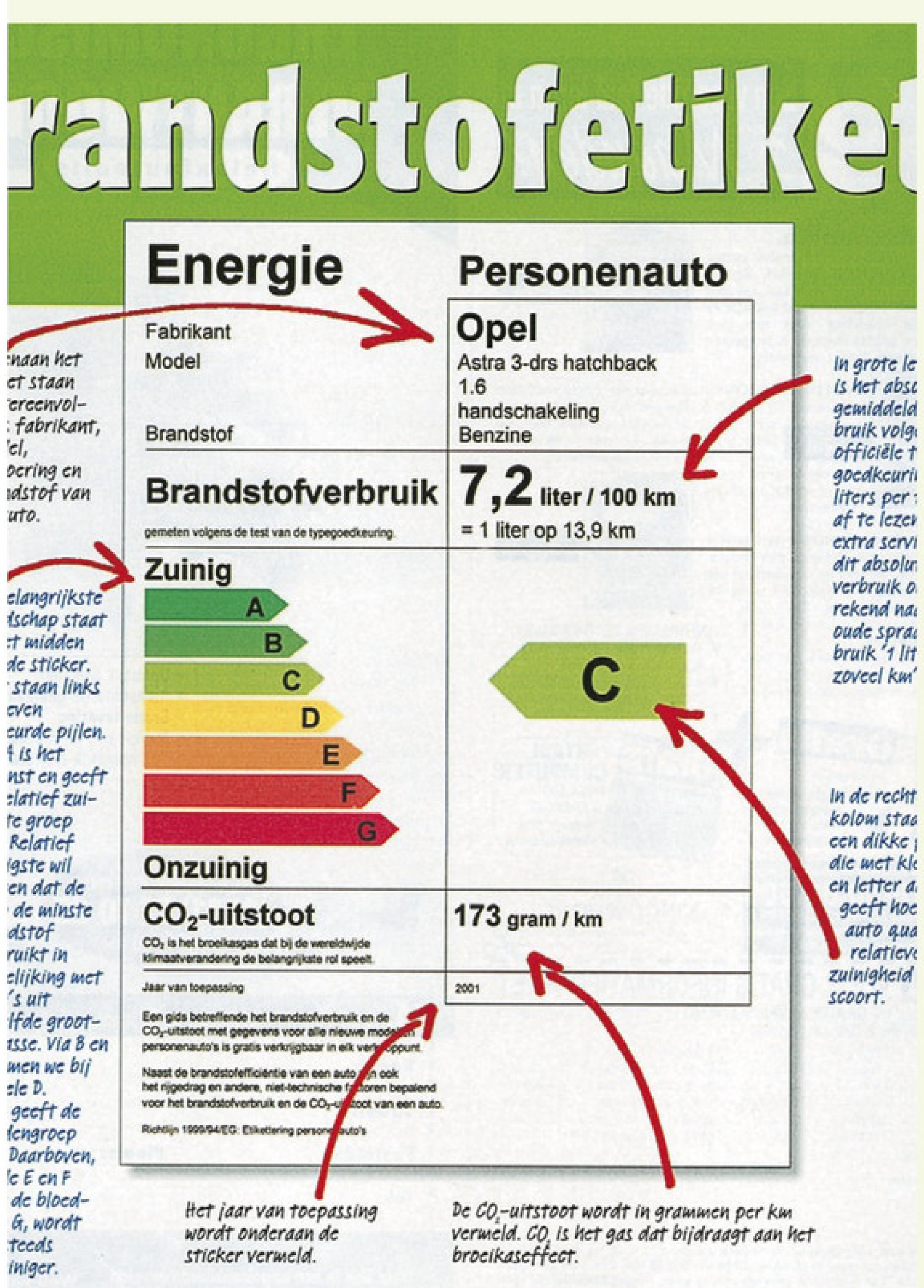

▶ **figuur 31**
Zo kun je het rendement van een combiketel bepalen.

3 Bereken $\eta$ = het rendement van de combiketel.

gegevens $E_{tot} = 3{,}8 \cdot 10^6$ J
$E_{nut} = 2{,}5 \cdot 10^6$ J

gevraagd $\eta = ?$

uitwerking
$$\eta = \frac{E_{nut}}{E_{tot}} \cdot 100\%$$
$$= \frac{2{,}5 \cdot 10^6}{3{,}8 \cdot 10^6} \cdot 100\% \approx 66\%$$




## **Plus** Het brandstofetiket

De overheid wil dat mensen zuiniger zijn met energie. Het maakt bijvoorbeeld nogal wat uit in wat voor auto je rijdt. Maar hoe kun je erachter komen of een auto zuinig is of niet? Om mensen daarbij te helpen, zit er op elke nieuwe auto een **brandstofetiket** (figuur 32).

Op het brandstofetiket kun je zien hoe zuinig de auto is vergeleken met andere, vergelijkbare modellen. Een zuinige auto krijgt een groene pijl, een benzineslurper een rode pijl. Zo kun je de verschillende auto's beter met elkaar vergelijken. Ook kun je op het etiket zien hoeveel gram $CO_2$ de auto produceert per gereden kilometer.

◀ **figuur 32**
Zo ziet een brandstofetiket eruit.

**opgaven** **Leerstof**

**32** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe kun je volgens de formule $E = P \cdot t$ besparen op je energierekening?
- **b** Waarom mogen winkels tegenwoordig geen gloeilampen meer verkopen?
- **c** Met welke formules kun je het rendement van een apparaat berekenen?
- **d** Wat wordt er bedoeld met 'de verbrandingswarmte van een brandstof'?

**33** Om het rendement van een combiketel te bepalen, moet je verschillende metingen doen.
Met welk meetinstrument kun je bepalen:
- **a** hoeveel kubieke meter aardgas er is verbrand?
- **b** hoeveel warm water de combiketel heeft geleverd?
- **c** hoeveel dat water in temperatuur is gestegen?

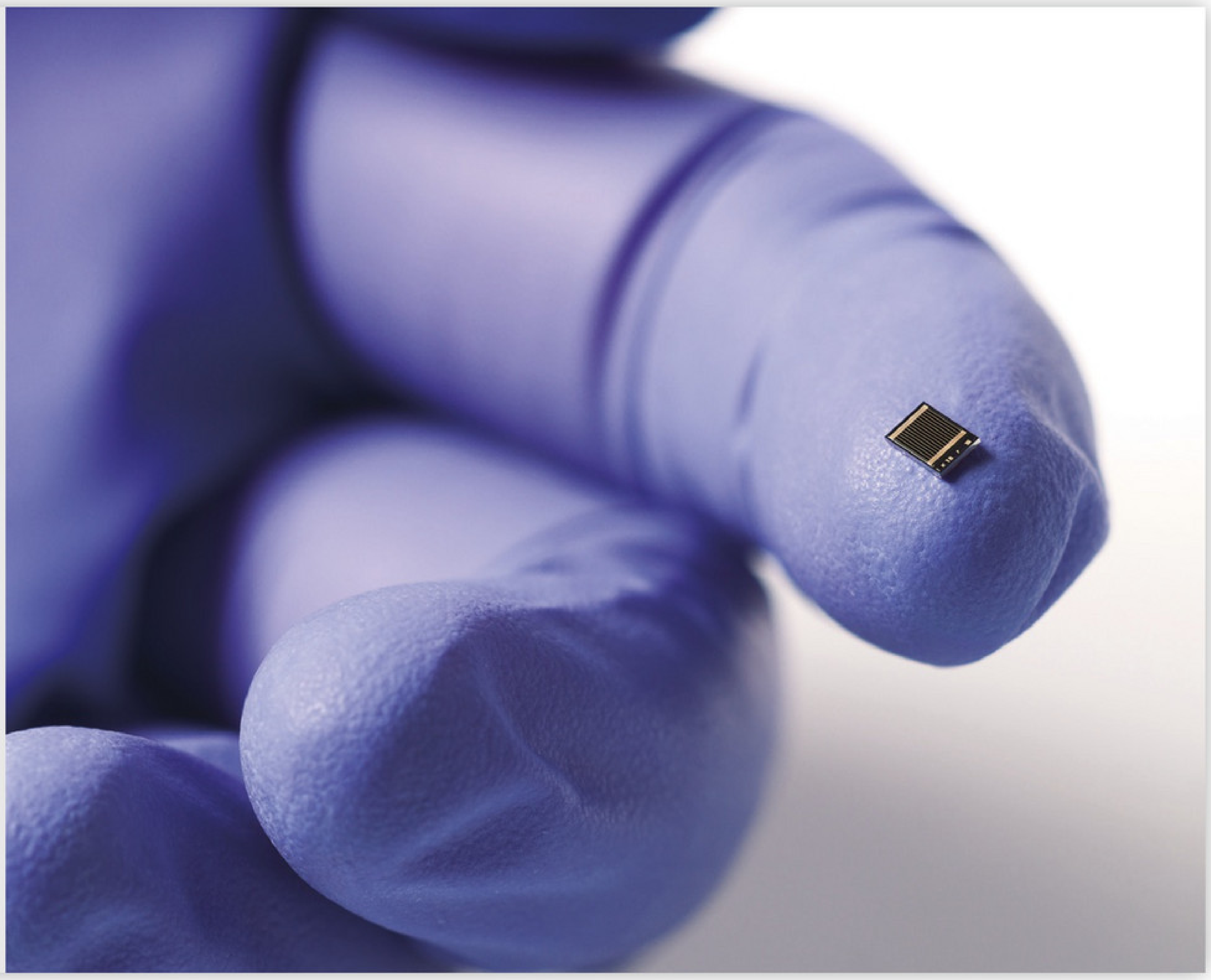
**Toepassing**

**34** 1 $m^3$ aardgas levert bij verbranding 32 MJ warmte.
Bereken hoeveel MJ daarvan nuttig gebruikt wordt:
- **a** in een ouderwetse cv-ketel ($\eta$ = 75%).
- **b** in een moderne hr-ketel ($\eta$ = 90%).

**35** Lees het krantenartikel in figuur 33.
- **a** Van welke energiebron maakt een zonnecel gebruik?
- **b** Welk soort energie levert deze energiebron?
- **c** Welk soort nuttige energie geeft een zonnecel af?
- **d** Waarom is het belangrijk dat het rendement van zonnecellen wordt vergroot?

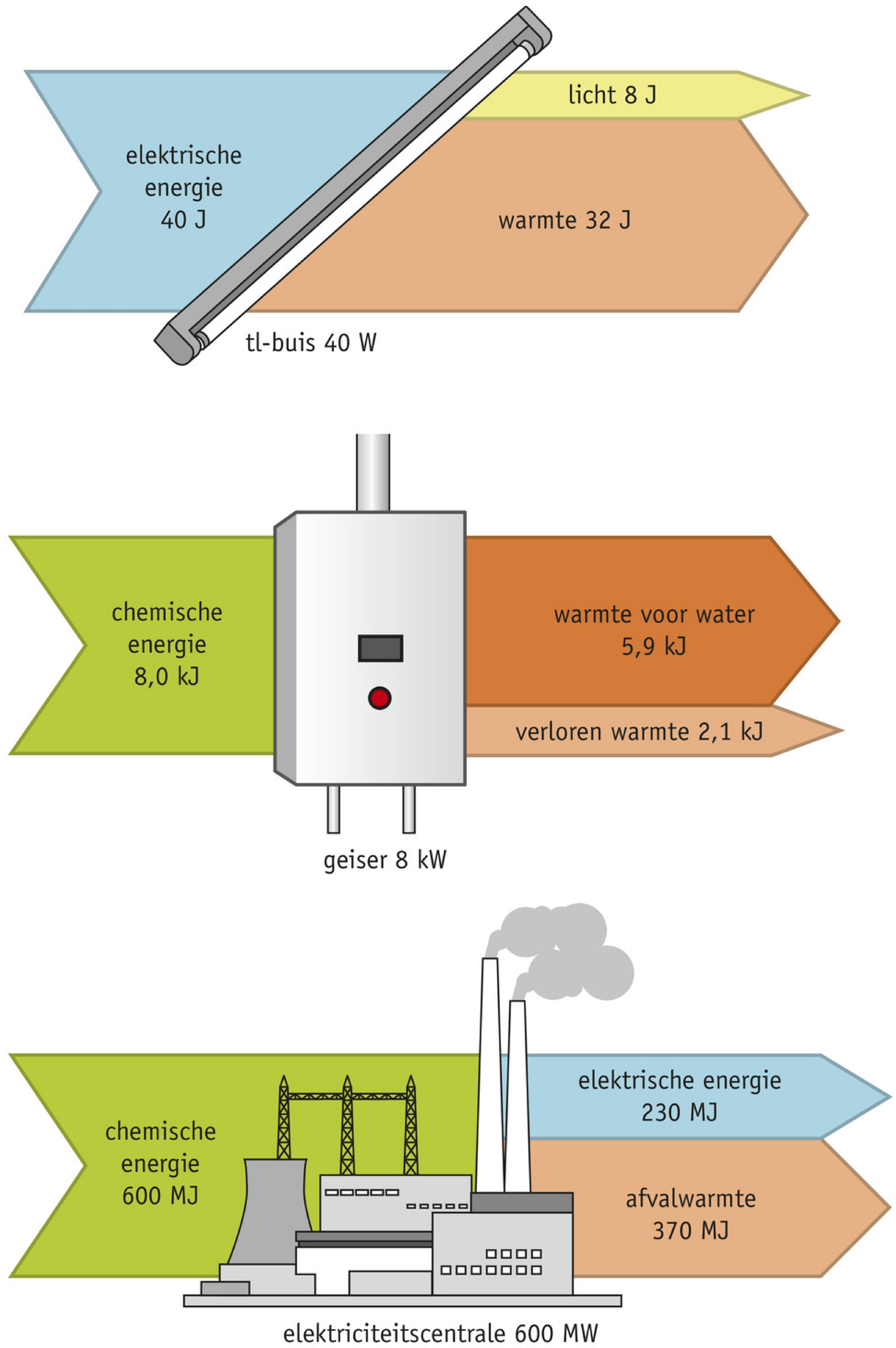
## Zonnecel met recordrendement van 44,7%

Berlijn – Onderzoekers in Duitsland hebben een zonnecel ontwikkeld met een recordrendement van 44,7%. Deze ontwikkeling betekent een belangrijke stap in de richting van goedkopere omzetting van zonne-energie in elektriciteit. De nieuwe zonnecel is opgebouwd uit vier 'sub-zonnecellen' die gevoelig zijn voor verschillende gedeelten van het zonlichtspectrum. Hierdoor kan 44,7% van de totale energie in het zonnespectrum, van infrarood tot ultraviolet, in elektriciteit worden omgezet.



▲ **figuur 33**
Het rendement van zonnecellen wordt steeds groter.

**36** In figuur 34 zie je drie energie-stroomdiagrammen.
Bereken het rendement van elke energie-omzetting.




▶ **figuur 34**
drie energie-stroomdiagrammen

**37** Bij deze opgave heb je werkblad 4-3 nodig.
In de bureaulamp van Mamud zit een halogeenlampje. Het lampje is aangesloten op het lichtnet via een netadapter. De netadapter neemt 24 W elektrisch vermogen op (bij een spanning van 230 V) en geeft 19 W elektrisch vermogen af (bij een spanning van 12 V).

**a** Bereken het rendement van de netadapter.
**b** Wat gebeurt er met de 5 W vermogen die niet nuttig wordt gebruikt?
**c** Hoe merkt Mamud dat als hij de netadapter aanraakt?
**d** Maak het energie-stroomdiagram op het werkblad af. Geef elke pijl de juiste breedte.

**38** Een combiketel verbrandt in 10 min 0,30 m³ aardgas. In die 10 min wordt er 28 L water verwarmd van 15 °C tot 85 °C.
Bereken:
- **a** hoeveel warmte bij de verbranding van het aardgas vrijkwam.
- **b** hoeveel warmte er door het verwarmde water is opgenomen.
- **c** hoe groot het rendement van de combiketel is.

**39** Een elektrische flessenwarmer heeft een vermogen van 80 W. Het duurt 8,5 min voor de temperatuur van de 200 g water in de zuigfles gestegen is van 7 °C tot 37 °C.
- **a** Bereken het rendement van de flessenwarmer. Schrijf de hele berekening op.
- **b** Een flessenwarmer heeft een vrij laag rendement. Geef daarvoor twee oorzaken (zelf bedenken).

**40** In figuur 35 zie je een gedeelte van een folder over gasgestookte wasdrogers.
- **a** Noem twee argumenten om voor een gasgestookte wasdroger te kiezen.
- **b** Hoe komt het dat gasgebruik het milieu minder belast dan elektriciteitsgebruik (zelfs als de centrale gestookt wordt met aardgas)?
- **c** Welke manier om de was te drogen is nog milieuvriendelijker dan zo'n gasgestookte wasdroger?

## Plus Het brandstofetiket

**41** Bekijk het brandstofetiket in figuur 32.
- **a** Op welke twee manieren wordt het brandstofverbruik van de auto aangegeven?
- **b** Laat door een berekening zien dat beide manieren met elkaar overeenstemmen.
- **c** Bij een rit stoot de auto 16,2 kg $CO_2$ uit.
  Hoeveel kilometer heeft de auto gereden?

**42** Een auto met energielabel A kan heel goed een hoger benzineverbruik hebben dan een auto met energielabel C, ook al leggen beide auto's exact dezelfde afstand af.
Geef hiervoor drie mogelijke oorzaken.



**Wasdrogers op aardgas: superzuinig!**

Wasdrogers zijn in ons regenachtige land een zegen, maar ze hebben een grote elektriciteits-eetlust. Uw energierekening kan ervan meepraten. Om dit bezwaar te verminderen, is de gasgestookte wasdroger ontwikkeld, want deze gaat heel zuinig met brandstof om. Bij een gemiddeld gebruik van vier droogbeurten per week bespaart u jaarlijks zo de helft aan energiekosten. Bovendien belast gasgebruik het milieu minder dan elektriciteitsgebruik.

◀ **figuur 35**
reclame voor wasdrogers

# Practicum

## Proef 1 De soortelijke warmte van water 30 min

### Inleiding
De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen, noem je de soortelijke warmte van die stof.

### Doel
Je gaat de soortelijke warmte van water bepalen.

### Nodig
- warmtemeter of geïsoleerd bekerglas (500 mL) met deksel
- thermometer
- dompelaar
- maatcilinder
- stopwatch

### Uitvoeren en uitwerken
*Meten*
- Vul het bekerglas zo precies mogelijk met 500 mL water.
- Zet de dompelaar in het water, maar sluit hem nog niet aan. Sluit het bekerglas af met het deksel (figuur 36).
- Bepaal de begintemperatuur van het water.
- Sluit de dompelaar aan. Meet hoeveel tijd er nodig is om de 500 mL water 20 °C in temperatuur te laten stijgen.

1 Noteer het vermogen van de dompelaar, de begintemperatuur en de benodigde tijd in je schrift.

- Haal de stekker na de proef meteen uit het stopcontact.

*Uitwerken*

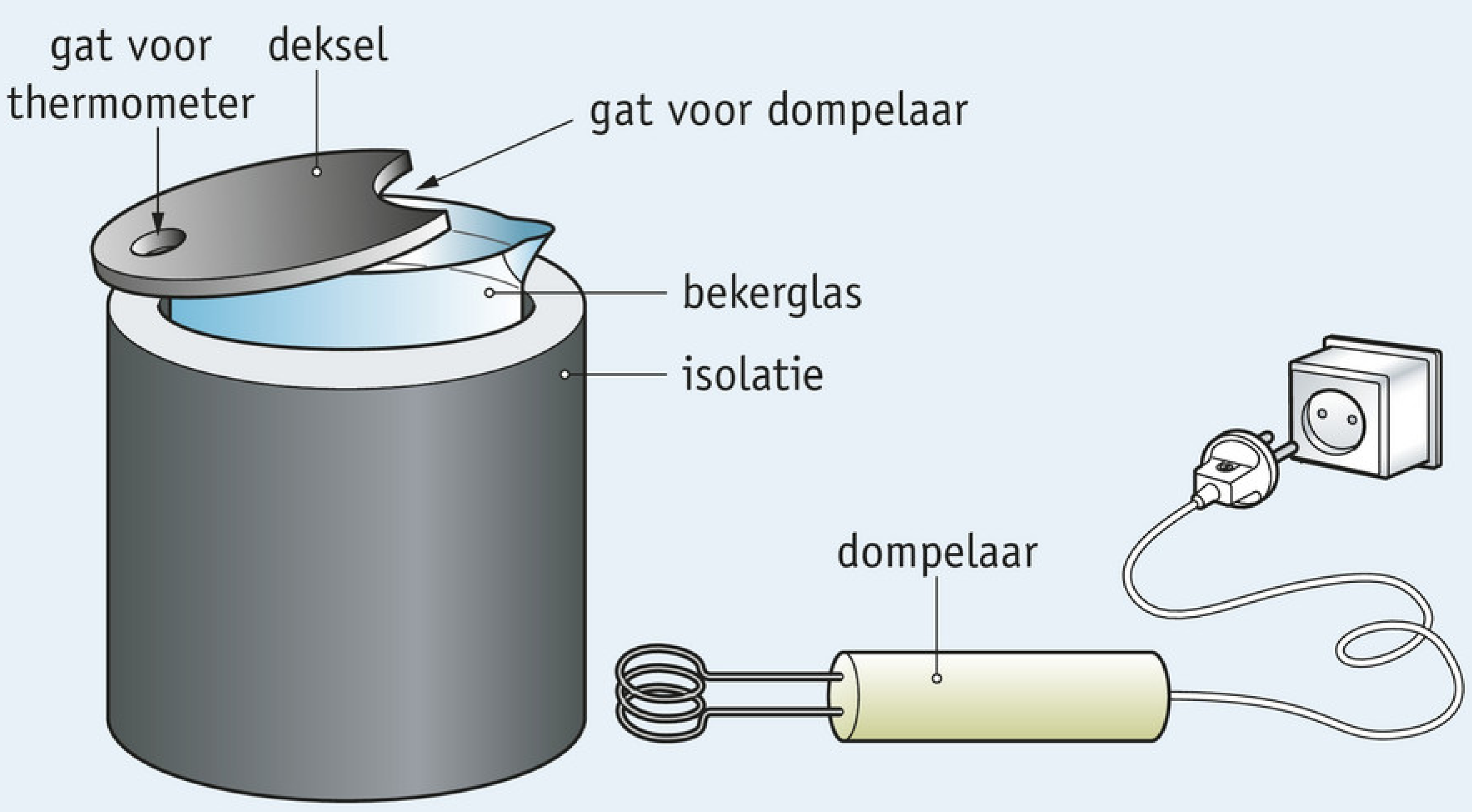
2 Bereken met de formule $E = P \cdot t$ hoeveel warmte de dompelaar heeft afgegeven.

3 Bereken de soortelijke warmte $c$ van water met de formule $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

4 Vergelijk de uitkomst met de waarde die in paragraaf 1 staat vermeld. Hoe groot is het verschil?

5 Leg uit waarom de proef zoals jij hem hebt uitgevoerd, waarschijnlijk een te hoge waarde voor de soortelijke warmte oplevert.

6 Hoe zou je de soortelijke warmte van water nauwkeuriger kunnen bepalen? Beschrijf wat je daarvoor aan de proef zou moeten veranderen.




▲ **figuur 36**
de opstelling van proef 1

## Proef 2 De temperatuur van een gasvlam 45 min

### Inleiding
Als je iets verwarmt met een brander, gebruik je vaak een blauwe, zacht ruisende vlam. De temperatuur in zo'n vlam blijft constant, zolang je niet aan de gasregelknop of aan de luchtregelring draait.

### Doel
Bij deze proef ga je onderzoeken hoe heet zo'n gasvlam is. De onderzoeksvraag luidt:
*Hoe hoog is de temperatuur van een blauwe, zacht ruisende gasvlam?*

### Nodig
- geïsoleerd bekerglas met deksel
- dikke roestvrijstalen schroef
- kroestang
- brander
- thermometer
- maatcilinder
- weegschaal

### Uitvoeren en uitwerken
Als je een stalen schroef in een gasvlam houdt, is de temperatuur van de schroef na enkele minuten even hoog als de temperatuur van de vlam. Als je de hete schroef daarna snel onderdompelt in een bekerglas met water, zal de temperatuur van het water stijgen (het water neemt warmte op). Tegelijkertijd zal de temperatuur van de schroef dalen (de schroef staat warmte af). Na enige tijd bereiken het water en de schroef dezelfde eindtemperatuur. In het ideale geval neemt het water evenveel warmte op als dat de schroef afstaat. Je gaat dit gegeven gebruiken om de temperatuur van de schroef te bepalen.

*Meten*
- Vul het bekerglas met 100 mL water.
- Meet de begintemperatuur van het water.
- Bepaal de massa van de schroef.
- Laat de brander branden met een zacht ruisende, blauwe vlam.
- Houd de schroef met de kroestang enkele minuten in de gasvlam.
- Dompel de schroef daarna zo snel mogelijk onder in het water. Leg het deksel op het bekerglas.
- Bepaal de eindtemperatuur $T_e$: dit de hoogste temperatuur die het water bereikt, voordat het weer begint af te koelen.

**1** Noteer alle meetgegevens overzichtelijk in je schrift.

*Uitwerken*

**2** Bereken hoeveel warmte het water in het bekerglas heeft opgenomen. Je kunt de soortelijke warmte van water opzoeken in paragraaf 1.

**3** Bereken hoeveel warmte de schroef aan het water heeft afgestaan. De soortelijke warmte van roestvrij staal $c_{rvs}$ is 0,46 J/g·°C. Vul $c$, $m$ en $T_e$ in in de formule, maar laat de begintemperatuur van de schroef $T_b$ eerst nog staan.

**4** Stel de opgenomen warmte gelijk aan de afgestane warmte. Bereken zo de begintemperatuur $T_b$ van de schroef. Deze is bij benadering gelijk aan de temperatuur van de gasvlam.

**5** Is de temperatuur die je bij vraag 4 berekend hebt, te hoog of te laag? Leg uit.

**6** Zie vaardigheid 10 achter in het boek.
Maak een verslag van het onderzoek dat je hebt uitgevoerd.

## Proef 3 Warmtegeleiding 15 min

### Inleiding
Sommige stoffen zijn goede warmtegeleiders. Andere stoffen geven de warmte maar heel langzaam door. Hoe zit dat met koper, denk je? En met plastic?

### Doel
Bij deze proef onderzoek je hoe goed koper en plastic de warmte geleiden.

### Nodig
- bekerglas
- heet water
- deksel
- koperen strip
- plastic strip

### Uitvoeren en uitwerken

- Vul het bekerglas voor driekwart met heet water.
- Leg het deksel op het bekerglas. Zet de koperen strip onder het deksel door in het hete water.
- Pak de koperen strip vlak boven de rand van het bekerglas beet (figuur 37).

**1** Wat merk je?

- Pak de koperen strip 3 cm hoger beet als je vingers te heet worden.

**2** Hoelang duurt het voor de strip ook hier te heet is om vast te houden?

- Pak de strip weer 3 cm hoger vast. Pak de strip ten slotte nog eens vast bij het uiteinde.

**3** Waar is de strip het heetst? Waar is de strip het minst heet?
**4** In welke richting heeft de warmte zich door de strip verplaatst?

- Herhaal deze proef met een plastic strip in plaats van een strip van koper.

**5** Welke conclusie(s) kun je uit je waarnemingen trekken?



▲ **figuur 37**
Zo pak je de koperen strip beet.

## Proef 4 Stroming in water 15 min

### Inleiding

Als water op één plaats wordt verwarmd, ontstaat er een stroming. Zo kan de warmte zich verspreiden.

### Doel

Bij deze proef onderzoek je hoe water gaat stromen als je het verwarmt.

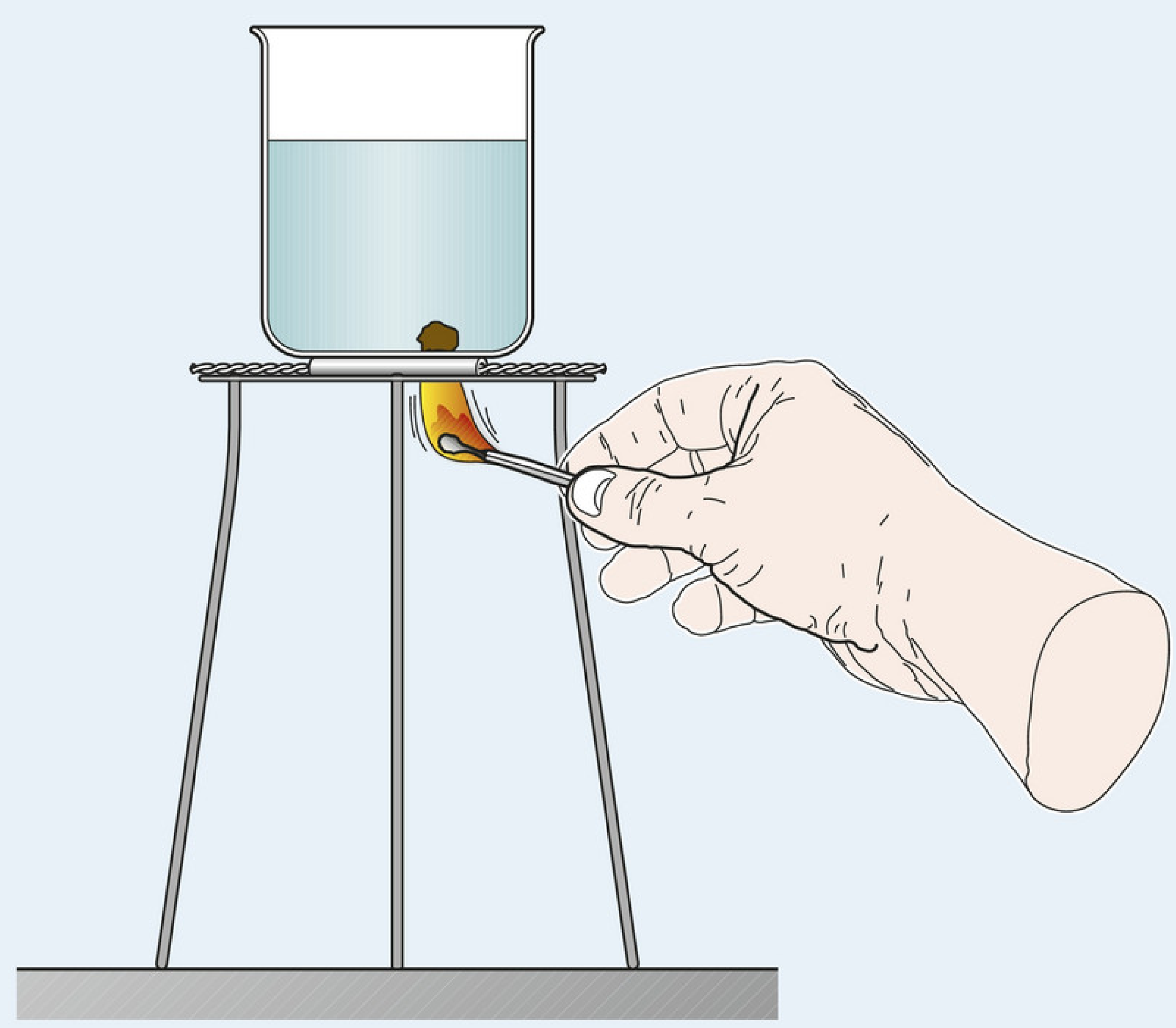
### Nodig

- driepoot
- pijpensteeldriehoek
- bekerglas
- kristal kaliumpermanganaat
- lucifers

### Uitvoeren en uitwerken

- Vul het bekerglas voor tweederde met water. Maak daarna de opstelling van figuur 38.
- Laat voorzichtig aan een van de zijkanten een kristal kaliumpermanganaat in het bekerglas vallen.
- Verwarm met een lucifer het bekerglas recht onder de plaats waar het kristal kaliumpermanganaat ligt.

**1** Schets hoe het water in het bekerglas gaat stromen.



▲ **figuur 38**
Zo verwarm je het water in het bekerglas.

## Proef 5 Het rendement van een waxinelichtje 30 min

### Inleiding
Met een waxinelichtje kun je water verwarmen. Een deel van de warmte van het lichtje komt dan in het water terecht. Een ander deel van de warmte gaat verloren. Het rendement van deze manier van verwarmen is dus zeker geen 100%. Maar hoeveel dan wel?

### Doel
Dat ga je bij deze proef onderzoeken. De onderzoeksvraag is:
*Hoe groot is het rendement als je water verwarmt met een waxinelichtje?*

### Nodig
- driepoot
- gaasje
- bekerglas (100 mL)
- maatcilinder
- thermometer
- weegschaal
- waxinelichtje
- lucifers

### Uitvoeren en uitwerken
*Voorbereiden*
Een brandend waxinelichtje wordt steeds lichter. Dat komt doordat de verbrandingsproducten (waterdamp en koolstofdioxide) gasvormig zijn en door het hele lokaal verspreid worden. Door het waxinelichtje voor en na de proef te wegen, kun je bepalen hoeveel gram brandstof er is verbrand.

*Meten*
– Bepaal de beginmassa van het waxinelichtje.
– Doe 50 mL water in het bekerglas.
– Meet de temperatuur van het water.

**1** Noteer de beginmassa en de begintemperatuur.

– Maak de opstelling van figuur 39. Steek het waxinelichtje aan.
– Roer af en toe met de thermometer.
– Meet na 6 min opnieuw de temperatuur van het water.
– Blaas het waxinelichtje voorzichtig uit.
– Bepaal opnieuw de massa van het waxinelichtje.

**2** Noteer de eindmassa en de eindtemperatuur.

*Uitwerken*

**3** Als er 1,0 g van het waxinelichtje verbrandt, levert dat 40 kJ warmte op.
Bereken hoeveel warmte door het waxinelichtje geleverd is.

**4** Zoek in de theorie de soortelijke warmte van water op.
Bereken hoeveel warmte het water heeft opgenomen.

**5** Bereken met je antwoorden op de vragen 3 en 4 het rendement.

**6** Vergelijk jouw rendement met het rendement van je medeleerlingen.
Waardoor komt het dat iedereen een andere waarde heeft?

**7** Op welke manieren zou je het rendement van het waxinelichtje kunnen verbeteren?




▲ **figuur 39**
de opstelling van proef 5

## Proef 6 De spanning van een zonnepaneel 45 min

### Inleiding
Stel je voor: een zonnepaneel levert de meeste spanning (en elektrische energie) als hij precies op de zon gericht is. Als de richting van de ideale richting afwijkt, is de spanning lager. Een energiebedrijf wil zijn klanten precies kunnen vertellen hoe de richting de opbrengst van de zonnepanelen beïnvloedt.
Jij bent bij deze opdracht de onderzoeker die de benodigde gegevens moet verzamelen.

### Doel
Hoeveel lager wordt de spanning? Dat ga je bij deze proef onderzoeken. De onderzoeksvraag luidt:
*Wat is het verband tussen de richting waarin een zonnepaneel staat opgesteld, en de spanning die het zonnepaneel levert?*

### Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

### Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?

**1** Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

**2** Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

# Test Jezelf

**Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.**

**1** Welke energieomzetting vindt er plaats:
- **a** in een cv-ketel?
- **b** in een strijkijzer?

**2** Neem over en vul in.
- **a** Energie kan worden omgezet van de ene soort in de andere; daarbij verandert de totale … energie niet.
- **b** Dat de temperatuur van een stof stijgt, betekent dat de moleculen van de stof gemiddeld … gaan bewegen.
- **c** Met een … kun je meten hoeveel warmte nodig is voor het verwarmen van een bepaalde hoeveelheid water.
- **d** De hoeveelheid warmte die nodig is om 1 g van een stof 1 °C in temperatuur te laten stijgen, wordt de … genoemd.

**3** Stephanie verwarmt 250 mL water van 15 tot 100 °C.
Hoeveel warmte neemt het water daarbij op?
- A 57 kJ
- B 73 kJ
- C 89 kJ
- D 105 kJ

**4** Hieronder staan vier ‘alternatieve’ energiebronnen. Noteer van elke energiebron welk soort energie hij levert.
- **a** aardwarmte
- **b** biomassa
- **c** wind
- **d** zonlicht

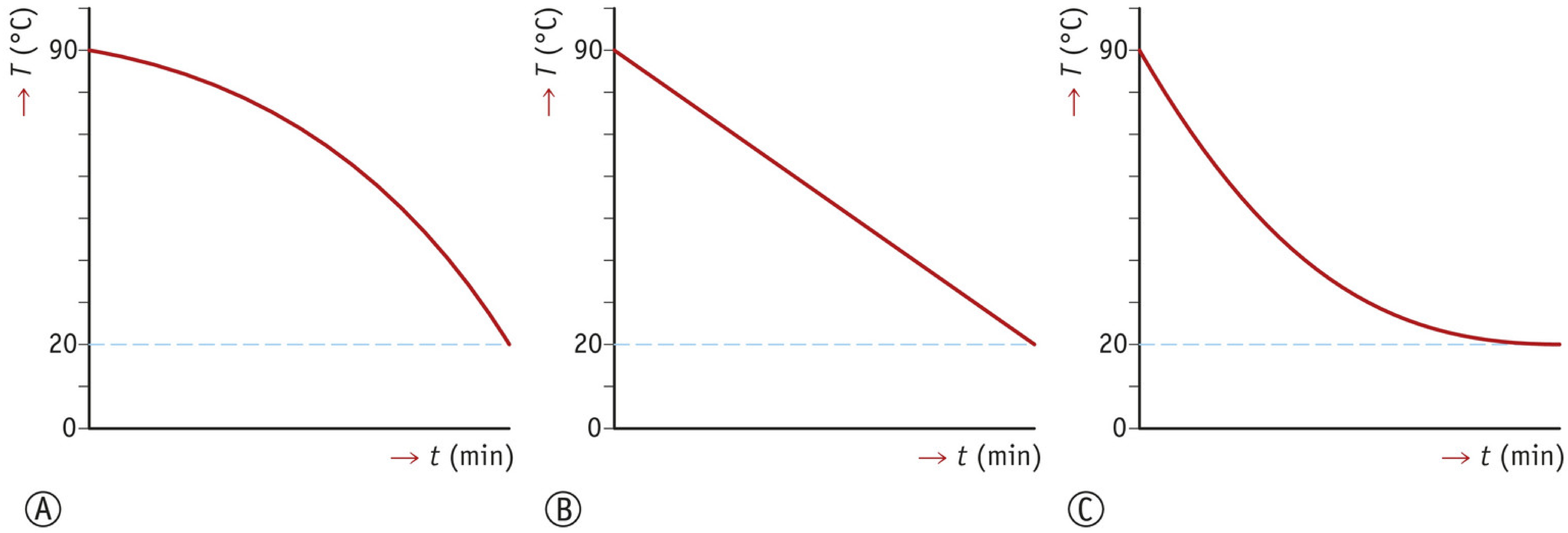
**5** Jan-Maarten heeft een waterkoker met een vermogen van 2400 W.
Bereken hoeveel warmte deze waterkoker in één minuut produceert.

**6** Iwan beweert: “Je kunt het nuttig vermogen van een windturbine berekenen met de formule $P = U \cdot I$.”
Niels beweert: “Het nuttig vermogen van een windturbine is niet constant, maar hangt af van de windsnelheid.”
Wat is juist?
- A Iwan en Niels hebben allebei ongelijk.
- B Iwan heeft gelijk, Niels heeft ongelijk.
- C Iwan heeft ongelijk, Niels heeft gelijk.
- D Iwan en Niels hebben allebei gelijk.

**7** Noteer of de volgende beweringen waar of onwaar zijn.
- **a** De voorraad fossiele brandstoffen op aarde is niet onbeperkt, maar eindig.
- **b** Biomassa is een fossiele brandstof, net als aardgas, aardolie en steenkool.
- **c** Wind is een schone energiebron die geen enkel nadeel voor het milieu heeft.
- **d** Een zonnecollector produceert warmte waarmee water kan worden verhit.
- **e** Steenkool wordt in Nederland gebruikt in een aantal elektriciteitscentrales.

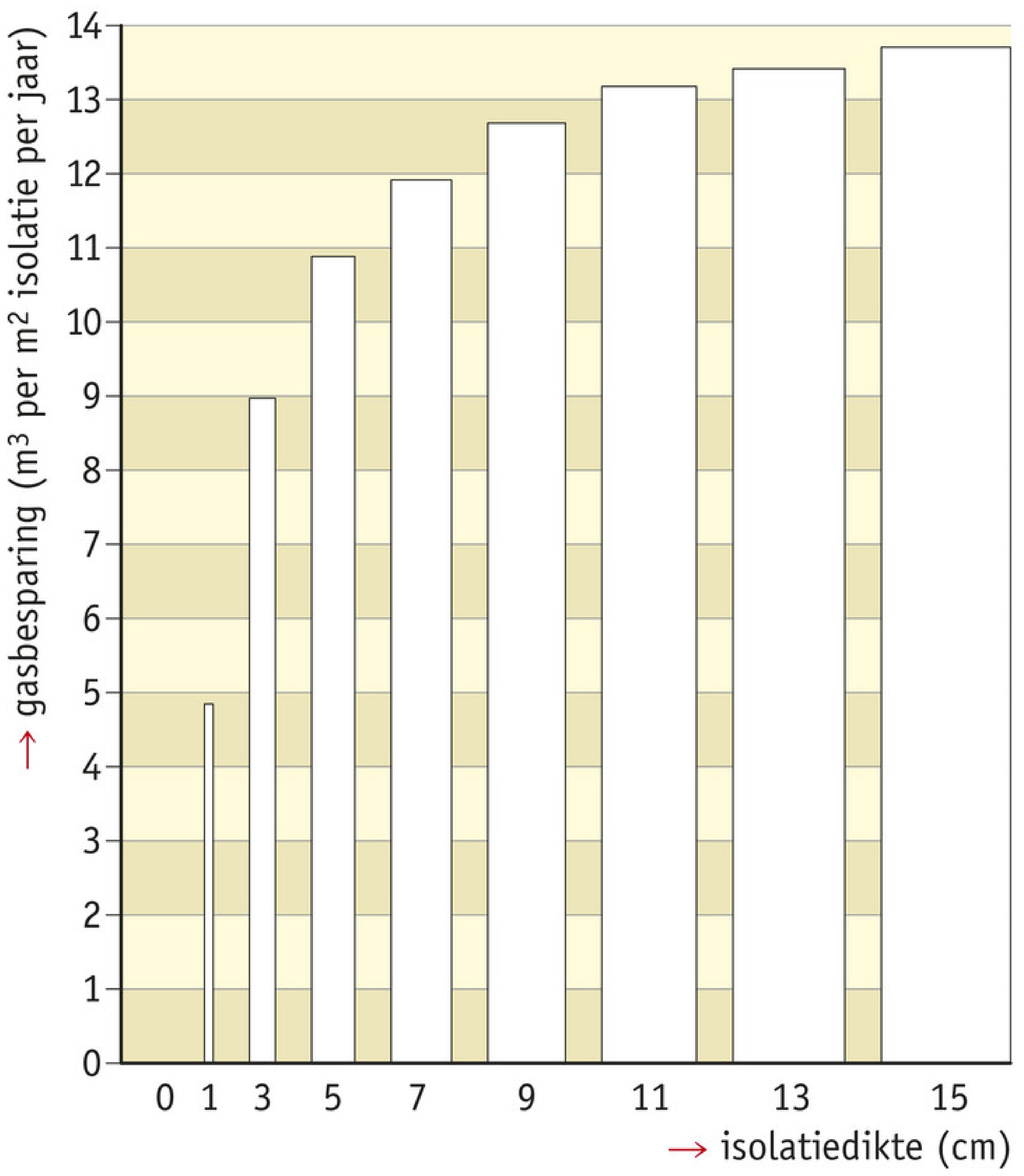
**8** Een glas met water van 90 °C koelt af tot de kamertemperatuur van 20 °C.
Welke grafiek in figuur 40 geeft het best het temperatuurverloop weer?

▼ **figuur 40**
Hoe daalt de temperatuur van het water?



**9** Als je wilt weten of je huis goed geïsoleerd is, kun je een thermogram laten maken. Dat doe je op een moment dat het buiten koud en binnen warm is. Op het thermogram kun je daarna de temperatuur aflezen van de muren, de ramen, de deuren, het dak, enzovoort.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.
De onderdelen van een huis die weinig warmte doorlaten, hebben een *hoge / lage* temperatuur en zenden verhoudingsgewijs *veel / weinig* straling uit. Plaatsen waar veel warmte weglekt, hebben juist een opvallend *hoge / lage* temperatuur.
Ramen hebben een *hogere / lagere* temperatuur dan muren. Ramen met dubbel glas hebben een *hogere / lagere* temperatuur dan ramen met enkel glas.

**10** Mevrouw Dekker wil haar huis laten isoleren. In de *Consumentengids* komt ze de grafiek tegen die in figuur 41 staat afgebeeld. Nadat ze de grafiek bekeken heeft, kiest ze voor isolatiemateriaal van 7 cm dik. In totaal laat ze 62 $m^2$ muuroppervlak isoleren.
Hoeveel $m^3$ aardgas zal mevrouw Dekker volgens de grafiek per jaar besparen?




▲ **figuur 41**
informatie over isolatiemateriaal

**11** Radiatorfolie is glimmend aluminiumfolie dat achter de radiator tegen de muur wordt aangebracht (figuur 42). Op die manier kun je het warmteverlies door de muur beperken.
Welke eigenschap van het folie beperkt het warmteverlies?
A Het folie is een goede warmtegeleider.
B Het folie laat geen lucht of vocht door.
C Het folie reflecteert infrarode straling.

Achter radiatoren verdwijnt veel warmte, omdat hier het temperatuurverschil met buiten het hoogst is. Wilt u voorkomen dat de warmte via de muur naar buiten lekt? Dan is radiatorfolie een goede oplossing. De folie zorgt ervoor dat de warmte binnenblijft en dat u veel gas bespaart.



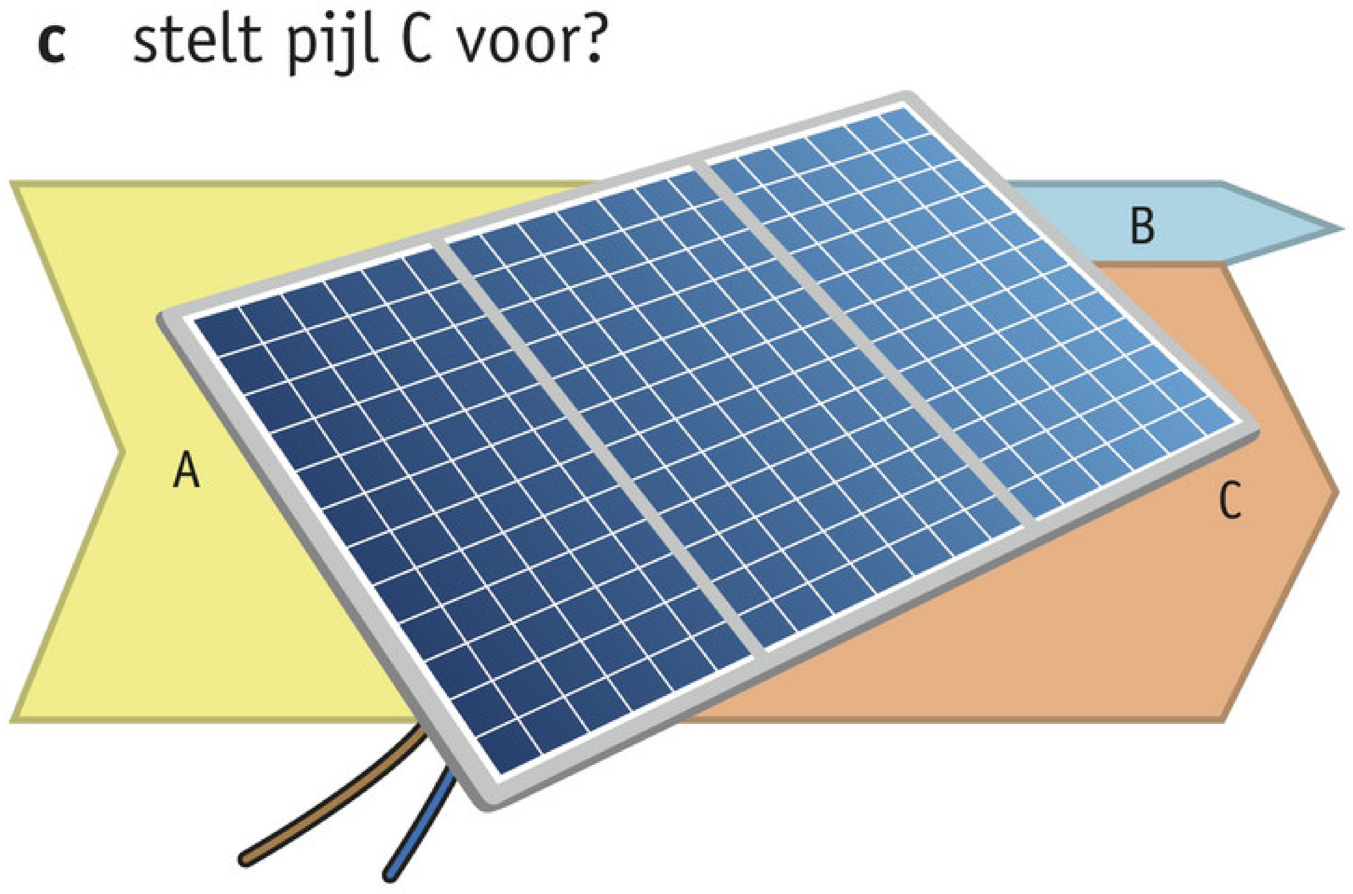
▲ **figuur 42**
reclame voor radiatorfolie

**12** In een gasbrander wordt 2,5 L aardgas verbrand. De verbrandingswarmte van aardgas is 32 MJ/$m^3$.
Hoeveel warmte komt er vrij bij de verbranding van 2,5 L aardgas?

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | 80 kJ | D | 80 MJ |
| B | 104 kJ | E | 104 MJ |
| C | 128 kJ | F | 128 MJ |

**13** In figuur 43 is het energie-stroomdiagram van een paneel zonnecellen getekend. Het paneel heeft een rendement van 15%.
Welk soort energie:
**a** stelt pijl A voor?
**b** stelt pijl B voor?
**c** stelt pijl C voor?

▶ **figuur 43**
het energie-stroomdiagram van een zonnepaneel



**14** Welke meetinstrumenten heb je nodig om het opgenomen vermogen van een dompelaar te kunnen bepalen? Kies uit: *maatcilinder – spanningsmeter – stopwatch – stroommeter – thermometer – weegschaal*.

**15** Aynur gebruikt een dompelaar om 200 mL water te verwarmen. De dompelaar geeft in 5 minuten 18 kJ warmte af. Hiervan wordt 15 kJ opgenomen door het water.
Bereken het rendement waarmee het water is verwarmd.

**16** Twee lampen geven evenveel licht. Lamp A heeft een elektrisch vermogen van 12 W en een rendement van 20%. Lamp B heeft een elektrisch vermogen van *X* W en een rendement van 25%.
Bereken of beredeneer hoe groot *X* is.

**17** Jorieke verwarmt 200 g water van 15 °C gedurende tien minuten met een verwarmings-element van 70 W.
Bereken de eindtemperatuur van het water.

**18** In de Mojave Woestijn in de Verenigde Staten staan verschillende centrales die elektriciteit opwekken met zonlicht. In figuur 44 zie je een deel van zo'n centrale. De spiegels weerkaatsen zonlicht naar buizen die met olie gevuld zijn. De hete olie wordt gebruikt om water te verhitten tot stoom.
- **a** Welke energie-omzetting moet deze centrale zo efficiënt mogelijk uitvoeren?
- **b** Waarom zou deze centrale in de woestijn gebouwd zijn?



▶ **figuur 44**
een zonnecentrale in de Mojave Woestijn

- **c** Het heeft ook nadelen om een centrale in de woestijn te bouwen.
Noteer zo'n nadeel.
- **d** Waarom zal zo'n zonnecentrale eerder in Algerije of Israël worden gebouwd dan in Nederland of Zweden?

**19** Hiske bepaalt thuis het rendement van een gaspit bij het aan de kook brengen van water. Hiervoor neemt ze 1,2 L water van 15 °C. Ze leest aan het begin en het einde van de proef de gasmeter af. De beginstand is 02345,620 $m^3$ en de eindstand 02345,651 $m^3$.
Bereken het rendement dat ze zo vindt.

**20** In *de Volkskrant* staat een bericht over een experimentele elektriciteitscentrale die werkt op afvalhout (figuur 45).
- **a** Bereken hoeveel kWh elektrische energie deze centrale in een dag kan leveren.
- **b** Het jaarverbruik van een gemiddeld Nederlands huishouden (van 2,2 personen) is 3500 kWh elektrische energie.
Bereken hoeveel huishoudens de centrale van elektriciteit kan voorzien.
- **c** Neem aan dat de verbrandingswarmte van de briketten gelijk is aan die van hout, namelijk 16 MJ/kg.
Bereken het rendement van de centrale.

**Op het paneel branden 408 lampen van 60 watt, ten teken dat de generator op volle toeren draait, aangedreven door een zwaar ronkende gasmotor. Die wordt op zijn beurt gevoed door een energierijk gas afkomstig uit afvalhout.**
**Per uur verbruikt de vergasser 80 kilogram briketten, die zijn geperst van houtkrullen en zaagsel. De briketten worden vergast bij 1200 graden op een vast rooster onder in de reactor. De onderzoekers houden secuur bij hoeveel stroom daarbij wordt opgewekt.**

▲ **figuur 45**
een bericht over een afvalhoutcentrale




# SPORT EN VOEDING

**Wielrenners noemen het de hongerklop, of ze zeggen dat ze 'de man met de hamer' zijn tegengekomen. Een slachtoffer vertelt: "Het ene moment ga je als een speer, het volgende moment kom je niet meer vooruit. Je benen willen niet meer, het klamme zweet staat op je voorhoofd en in je maag rommelt het. Je weet dat je snel iets moet eten, maar bij de gedachte alleen word je al misselijk. De tank is leeg, helemaal leeg ..."**

Duursporters, zoals wielrenners en marathonlopers, leren om de voorraad energie in hun lichaam zorgvuldig te managen. Zo kunnen ze de gevreesde hongerklop vermijden: een acuut gebrek aan energie, dat de sporter van het ene op het andere moment overvalt. Maar hoe ontstaat zo'n energiecrisis eigenlijk?

### Brandstof voor je lichaam

Mensen kunnen de energie die ze nodig hebben, uit drie soorten voedingsstoffen halen: koolhydraten, vetten en eiwitten. Het lichaam benut de chemische energie in deze stoffen door ze te verbranden: een proces dat veel lijkt op gewone verbranding, al komen er geen vlammen aan te pas. Bij volledige verbranding levert:

- 1 gram koolhydraten: 16,8 kJ (4,0 kcal);
- 1 gram vet: 37,8 kJ (9,0 kcal);
- 1 gram eiwit: 16,8 kJ (4,0 kcal).

Als je rustig op een stoel zit, staat de verbranding in je lichaam op een laag pitje. Het lichaam heeft dan geen voorkeur voor één soort brandstof. Maar als je intensief gaat sporten, vliegt het brandstofverbruik omhoog. Het lichaam verbrandt dan vooral koolhydraten, omdat het deze brandstof efficiënter kan benutten dan eiwitten of vetten.

Mensen kunnen een reservevoorraad koolhydraten aanleggen door glycogeen (zie kader) op te slaan in de lever en de spieren. Het probleem is alleen dat de opslagcapaciteit zo beperkt is. Je kunt zo'n 600 gram glycogeen opslaan. Dat is niet erg veel: je kunt er op zijn hoogst anderhalf uur mee vooruit, als je intensief sport.

Als de voorraad glycogeen opraakt, schakelt het lichaam over op het verbranden van vetten en eiwitten. Omdat dit proces niet zo efficiënt is, is er plotseling veel minder energie beschikbaar en dat merk je: 'de man met de hamer' slaat genadeloos toe. Had je nou maar eerder iets gegeten ...

### Tijdig bijtanken

Onder professionele atleten en wielrenners komt de hongerklop weinig meer voor. Ze hebben geleerd om hun glycogeenreserve

## Glucose en glycogeen



De verteerbare koolhydraten in het voedsel (er zijn ook onverteerbare) worden in de darmen afgebroken tot glucose. Het bloed neemt de glucose op en vervoert die naar alle delen van het lichaam. Glucose is zelf ook een koolhydraat en de energiebron bij uitstek voor de spieren.
Het lichaam probeert de glucoseconcentratie in het bloed constant te houden. Als er een overschot aan glucose is, wordt dat omgezet in glycogeen en opgeslagen in de lever en de spieren. Zo vormt het lichaam een reservevoorraad snel bruikbare energie.
Als je spieren hard moeten werken, nemen ze veel glucose op. De glucoseconcentratie in het bloed begint dan te dalen. Je lichaam reageert daar meteen op: de lever en de spieren zetten hun glycogeen weer om in glucose en geven die af aan het bloed. Zo wordt de glucoseconcentratie in het bloed op peil gehouden.
Als je lang doorgaat met sporten zonder te eten, raakt de voorraad glycogeen uitgeput. De glucoseconcentratie in het bloed daalt dan plotseling. De symptomen daarvan (vermoeidheid, duizeligheid, misselijkheid) staan bekend als de hongerklop.

op tijd aan te vullen, door goed te eten en te drinken. Daar zijn ze de hele dag mee bezig, ook als ze aan het sporten zijn.
Een paar cijfers ter illustratie. Iemand die zittend werk doet en weinig beweegt, kan toe met circa 10 MJ (2400 kcal) per dag. Een wielrenner die de Tour de France rijdt, heeft gemiddeld zo'n 29 MJ (7000 kcal) per dag nodig, bijna drie keer zo veel. Tijdens zware bergetappes loopt de energiebehoefte op tot wel 38 MJ (9000 kcal) per dag.

Deze cijfers zijn niet meer dan gemiddelden; de ene renner is de andere niet. Maar dat er flink gegeten moet worden, is wel duidelijk. Op het dagmenu staan veel graanproducten (pasta, brood en rijst) en zoete dingen, omdat die tjokvol koolhydraten zitten. Dit is wat een wielrenner op een doorsnee Tourdag naar binnen werkt:
Bij het ontbijt wordt de tank met glycogeen tot de rand gevuld. Desondanks zal een wielrenner tijdens de wedstrijd regelmatig moeten eten. Een etappe van 175 km kun je niet alleen op je glycogeenreserve rijden, laat staan dat je er dan nog een eindsprint uit kunt persen. De plastic tasjes met voedsel die onderweg uitgedeeld worden, zijn onmisbaar om te kunnen presteren.

Tijdens zware bergetappes loopt de energiebehoefte op tot wel 38 MJ (9000 kcal) per dag.

### Slim zijn met energie

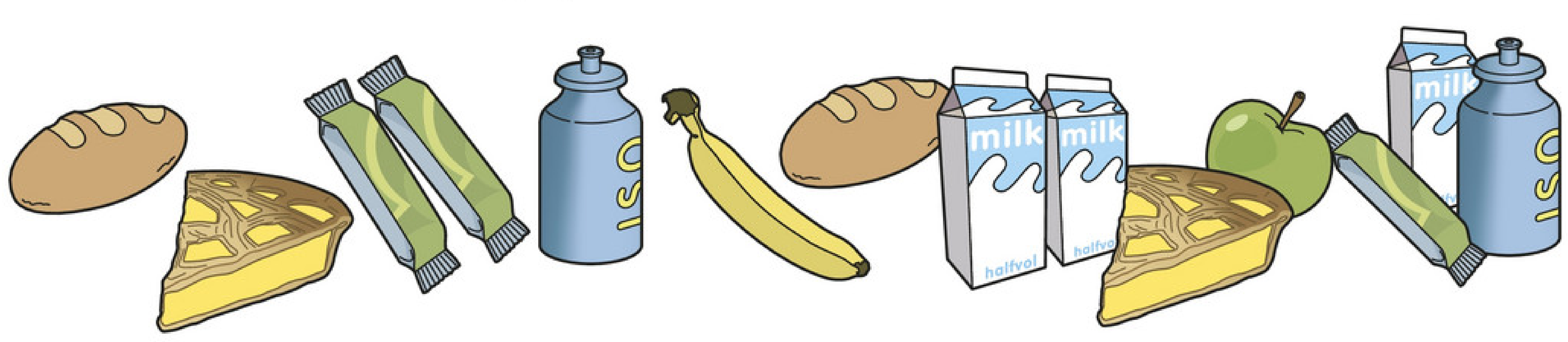
Je kunt de combinatie mens-fiets bekijken als een machine, met de wielrenner als motor. Net als bij een auto zijn er technieken bedacht om het nuttige vermogen van die motor te meten. Hoe groter het vermogen dat een wielrenner ontwikkelt, des te groter wordt zijn snelheid – maar ook zijn energieverbruik.

Het vermogen van een wielrenner kan tijdens een etappe enorm variëren: van circa 150 W in een rustige fase tot wel 450 W als de renner zich tegen een berg op worstelt. Een echte sprinter kan in de slotfase zelfs meer dan 1000 W aan vermogen ontwikkelen. Zo'n hoog vermogen is maar enkele seconden vol te houden.

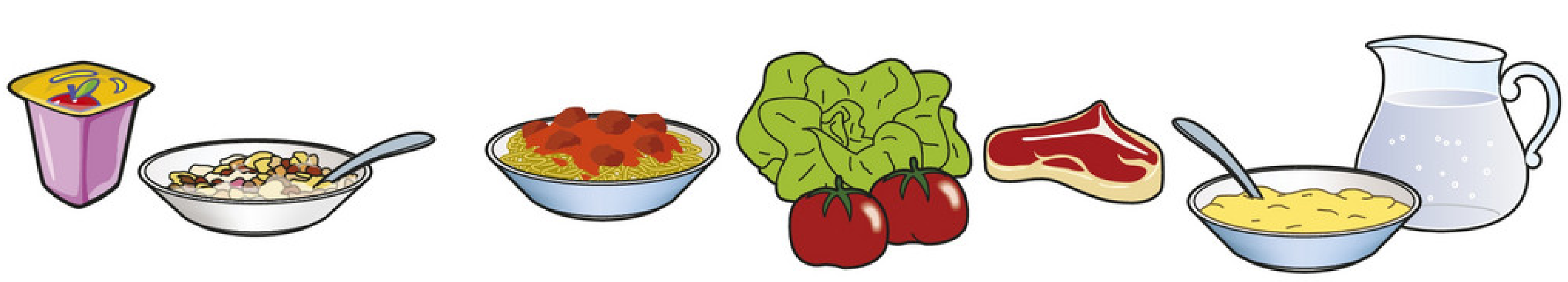
Een goede sprinter spaart zijn energievoorraad door rustig in het peloton mee te rijden. Vlak voor de finish rijdt hij in een 'treintje' met zijn ploeggenoten naar voren, blijft nog even achter de kopman hangen en sprint dan weg. Als zijn timing goed is, heeft hij net genoeg 'macht' in de benen om het tot de eindstreep vol te houden – een kwestie van goed energiebeheer, zoals bijna alles wat met wielrennen te maken heeft.



Het ontbijt: een liter vruchtensap, eieren, witte rijst, ham, kaas, muesli, honing, brood met boter, marmelade en yoghurt. Totaal 6,3 MJ.



Onderweg eet de renner twee keer: volkorenbroodjes, gebak, energierepen, fruit en veel vocht. Hij drinkt per uur een halve liter water of isotone drank om de zouten aan te vullen die het lichaam door transpiratie verliest. Af en toe neemt hij vloeibare glucose. Totaal 12,2 MJ.


Na de race eet de renner een bord muesli met yoghurt. Het diner bestaat uit een bord pasta, salade, vlees, aardappelpuree en water. Totaal 10,5 MJ.

## Opgaven

**1** Hiernaast zie je een stukje van de verpakking van WASA knäckebröd.
**a** Past knäckebröd goed in de voeding van een duursporter? Leg uit.
**b** Bereken met behulp van de gegevens in de tekst de energiewaarde van 100 gram knäckebröd.
**c** Vergelijk je antwoord met de energiewaarde die op het etiket vermeld staat
Wat valt je op?

| Voedingswaarde<br>Valeur nutritive | per 100 g<br>par 100 g | per stuk<br>par pièce |
|---|---|---|
| Energie kJ/kcal | 1320/310 | 165/39 |
| Eiwitten/Protéines | 10,0 g | 1,3 g |
| Koolhydraten/Glucides | 64,6 g | 8,1 g |
| suikers/sucres | 1,4 g | 0,2 g |
| Vetten/Lipides | 1,5 g | 0,2 g |
| verzadigd/saturés | 0,4 g | 0,1 g |
| enkelv.onverzadigd/ mono-insaturés | 0,2 g | <0,1 g |
| meerv. onverzadigd/ poly-insaturés | 0,5 g | 0,1 g |
| Voedingsvezels/Fibres aliment. | 15,5 g | 2,0 g |
| Natrium/Sodium | 0,4 g | 50 mg |

**Inhoud:** roggeknäckebröd, ca. 20 stuks.
**Ingrediënten:** volkoren roggemeel, gist, zout.

**2** Een wielrenner die in zijn eentje aan het peloton ontsnapt, wordt tijdens een vlakke etappe bijna altijd weer door het peloton ingerekend.
**a** Waarom is het dan zo moeilijk om uit de greep van het peloton te blijven? Gebruik het begrip 'vermogen' in je uitleg.
**b** Hoe komt het dat ontsnappingen tijdens een bergetappe veel vaker succes hebben?

***3** Bij een experiment in een sportcentrum fietst een profwielrenner exact een uur lang op een fietsergometer. Uit metingen blijkt dat hij in dat uur 1425 kcal aan chemische energie verbruikt. Zijn nuttige vermogen is over het hele uur gerekend gemiddeld 385 W.
Bereken met deze gegevens het rendement van de wielrenner.







# 5

# Kracht en beweging

## Veilig verkeer

**In onze samenleving is mobiliteit erg belangrijk. Het verkeer op de weg, op het spoor, in de lucht en op het water wordt steeds drukker. Natuurlijk mag de veiligheid daarbij niet in het gedrang komen.**

# 1 Versnellen



▲ **figuur 1**
Een automobilist kijkt regelmatig even op de snelheidsmeter.

**Het vliegtuig waarmee je naar je vakantiebestemming vliegt, heeft een kruissnelheid van ruim 900 km/h. De karretjes van een achtbaan halen 'maar' 150 km/h. Toch voelt een rit in een achtbaan veel spannender dan een vlucht met een vliegtuig. Dat komt doordat de karretjes enorm snel optrekken. Het is blijkbaar niet de snelheid die je in je maag voelt, maar de snelheidsverandering.**

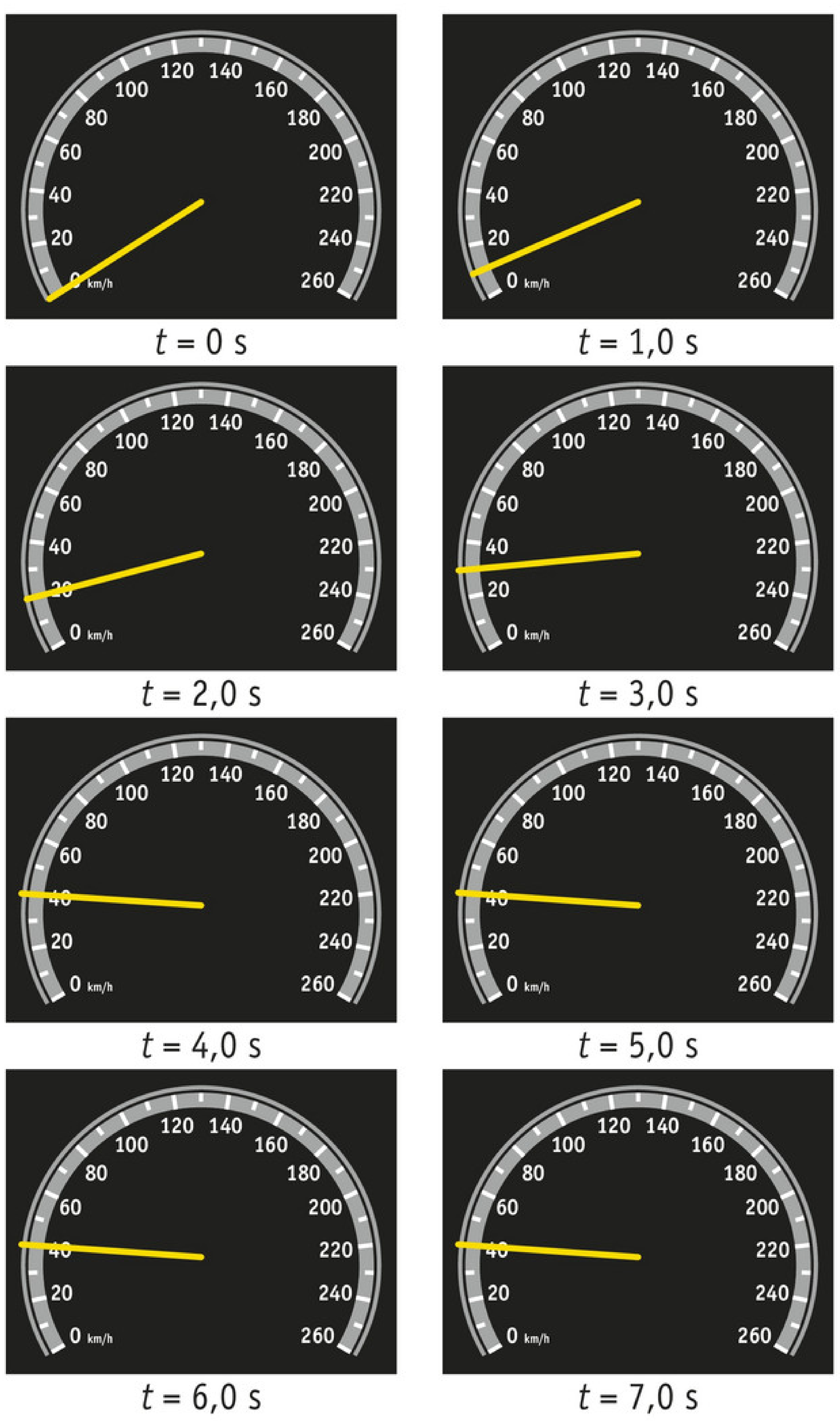
## Een (*v*,*t*)-diagram maken

De snelheidsmeter van een auto laat je zien hoe snel de auto op dat moment rijdt (figuur 1). Als je de snelheidsmeter met tussenpozen van 1 seconde zou fotograferen, krijg je een serie afbeeldingen zoals in figuur 2. In de figuur kun je aflezen hoe groot de snelheid is op het tijdstip $t$ = 0 s, $t$ = 1,0 s, $t$ = 2,0 s, enzovoort.

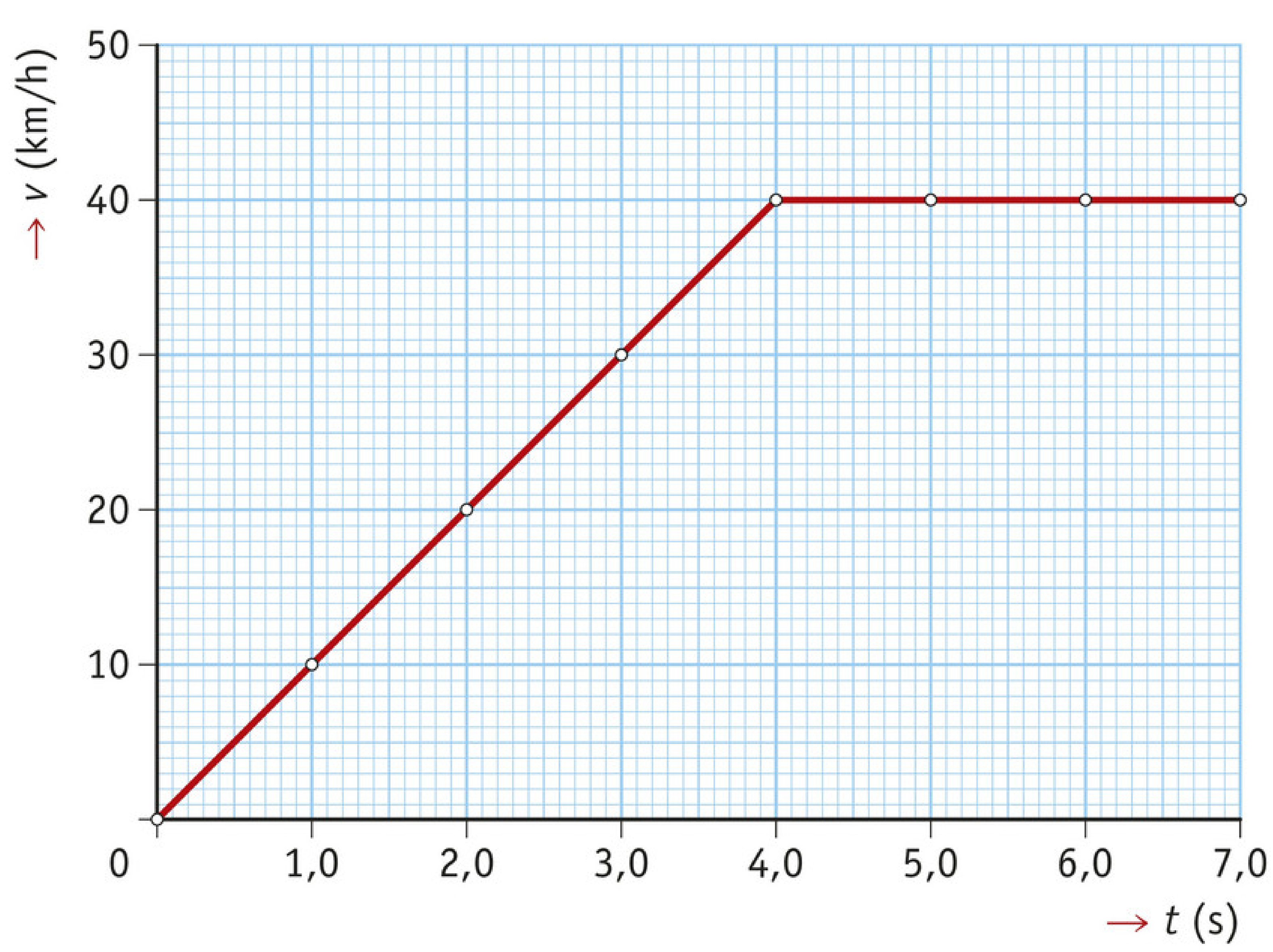
Met de gegevens uit figuur 2 is het **(snelheid,tijd)-diagram** in figuur 3 getekend. In zo'n diagram kun je in één oogopslag zien hoe de hele beweging is verlopen. Een (snelheid,tijd)-diagram wordt ook vaak een **(*v*,*t*)-diagram** genoemd. Langs de horizontale as staat de tijd $t$, langs de verticale as de snelheid $v$.

Je ziet in het diagram hoe groot de snelheid is op elk moment van de beweging.

- Van $t$ = 0 s tot $t$ = 4,0 s is de beweging **versneld**. De auto begint te bewegen op $t$ = 0 s en trekt daarna geleidelijk op. De snelheid wordt dus steeds groter.
- Op $t$ = 4,0 s heeft de auto de snelheid bereikt waarmee de bestuurder verder wil rijden: 40 km/h. De snelheid van de auto verandert daarna niet meer. Zo'n beweging waarbij de snelheid constant is, noem je een **eenparige** beweging.



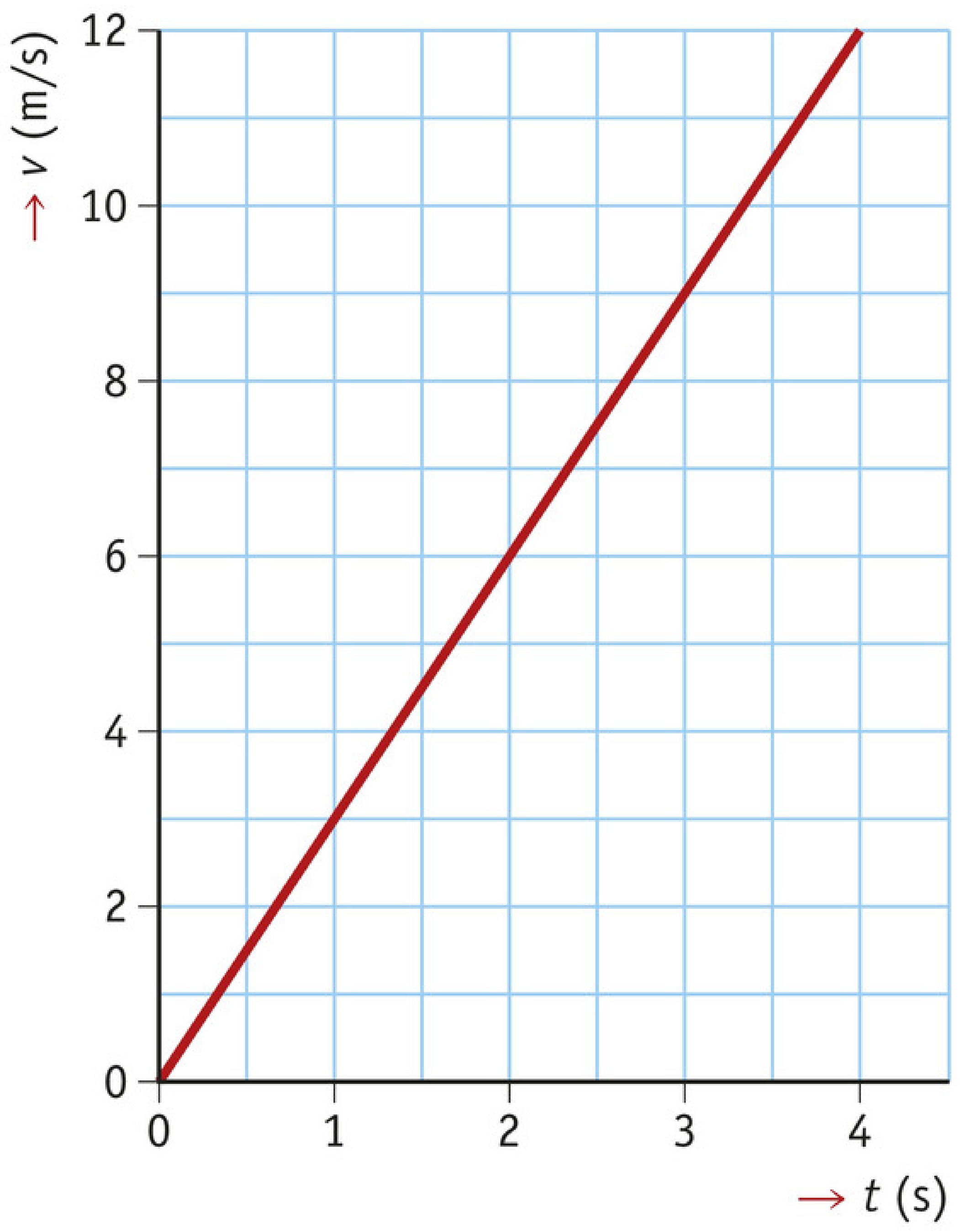

▲ **figuur 2**
Op de snelheidsmeter kun je zien hoe snel de auto rijdt.




◀ **figuur 3**
het (*v*,*t*)-diagram van een optrekkende auto

Let erop dat je een $(v,t)$-diagram (snelheid tegen tijd) niet verwart met een $(x,t)$-diagram (plaats tegen tijd). Kijk altijd eerst naar de grootheden ($x$ of $v$) en eenheden (m of m/s) die langs de assen staan. Daaraan kun je zien om wat voor soort diagram het gaat.

## De eenparig versnelde beweging Proef 1




▲ **figuur 4**
Zo versnelt de testauto bij het wegrijden.

In figuur 4 zie je een deel van het $(v,t)$-diagram in een testrapport van een auto. Je ziet dat de snelheid in de eerste vier seconden gelijkmatig toeneemt: de grafiek is een rechte lijn. Een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig groter wordt, noem je een **eenparig versnelde** beweging.

Na één seconde is de snelheid 3 m/s, na twee seconden 6 m/s, na drie seconden 9 m/s, enzovoort. De snelheid neemt dus elke seconde met 3 m/s toe. De snelheidsverandering per seconde noem je de **versnelling**. Bij de beweging in figuur 4 is de versnelling 3 m/s per seconde. Dit wordt geschreven als 3 m/s$^2$. Je zegt: "drie meter per seconde kwadraat".

Het symbool voor de versnelling is de letter $a$ (van acceleratie). Je noteert de versnelling dus als volgt: $a$ = 3 m/s$^2$. Daarmee bedoel je dan dat de snelheid elke seconde toeneemt met 3 m/s.

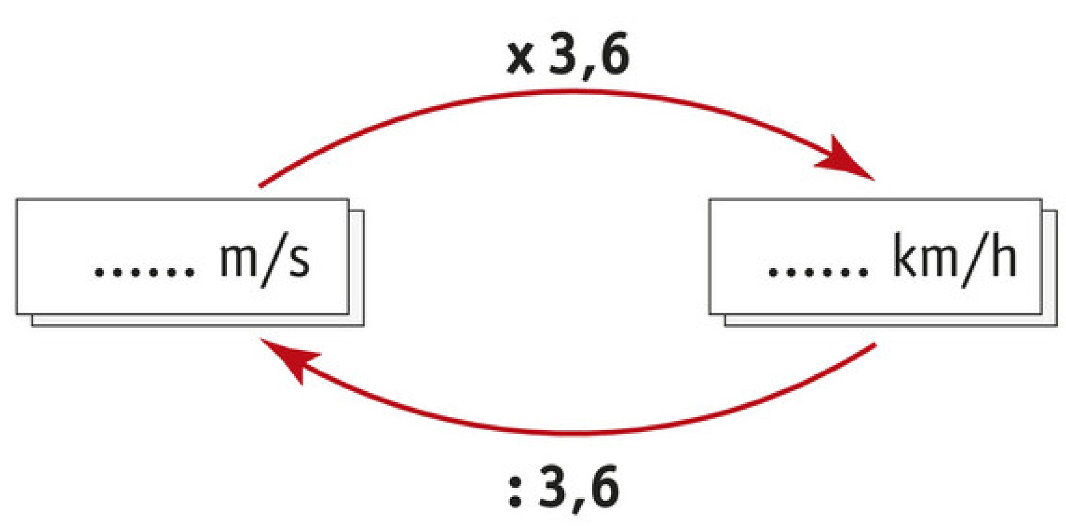
## De versnelling berekenen

Bij een eenparig versnelde beweging neemt de snelheid gelijkmatig toe van de beginsnelheid $v_b$ tot de eindsnelheid $v_e$. Je kunt de snelheidsverandering $\Delta v$ berekenen door de beginsnelheid van de eindsnelheid af te trekken: $\Delta v = v_e - v_b$.

Om de versnelling te berekenen, deel je de snelheidsverandering $\Delta v$ door de benodigde tijd $\Delta t$. Zo vind je de snelheidsverandering per seconde:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Vaak worden snelheden gegeven in de eenheid kilometer per uur (km/h). Om de versnelling te kunnen berekenen, moet je de gegeven snelheden eerst omrekenen naar de eenheid meter per seconde (m/s). Een snelheid van 90 km/h komt bijvoorbeeld overeen met 90 : 3,6 = 25 m/s. Zie figuur 5.




▶ **figuur 5**
Zo reken je om van m/s naar km/h – en omgekeerd.

***Voorbeeldopgave 1***
Een auto wil op de snelweg een vrachtwagen passeren. De bestuurder drukt het gaspedaal verder in, waardoor de auto 4,0 s lang eenparig versnelt. Hierdoor neemt de snelheid toe van 54 km/h tot 90 km/h. Bereken de versnelling.

gegevens $v_b = 54$ km/h = 15 m/s
$v_e = 90$ km/h = 25 m/s
$\Delta t = 4{,}0$ s

gevraagd $a = ?$

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 25 - 15 = 10$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10}{4{,}0} = 2{,}5 \text{ m/s}^2$$

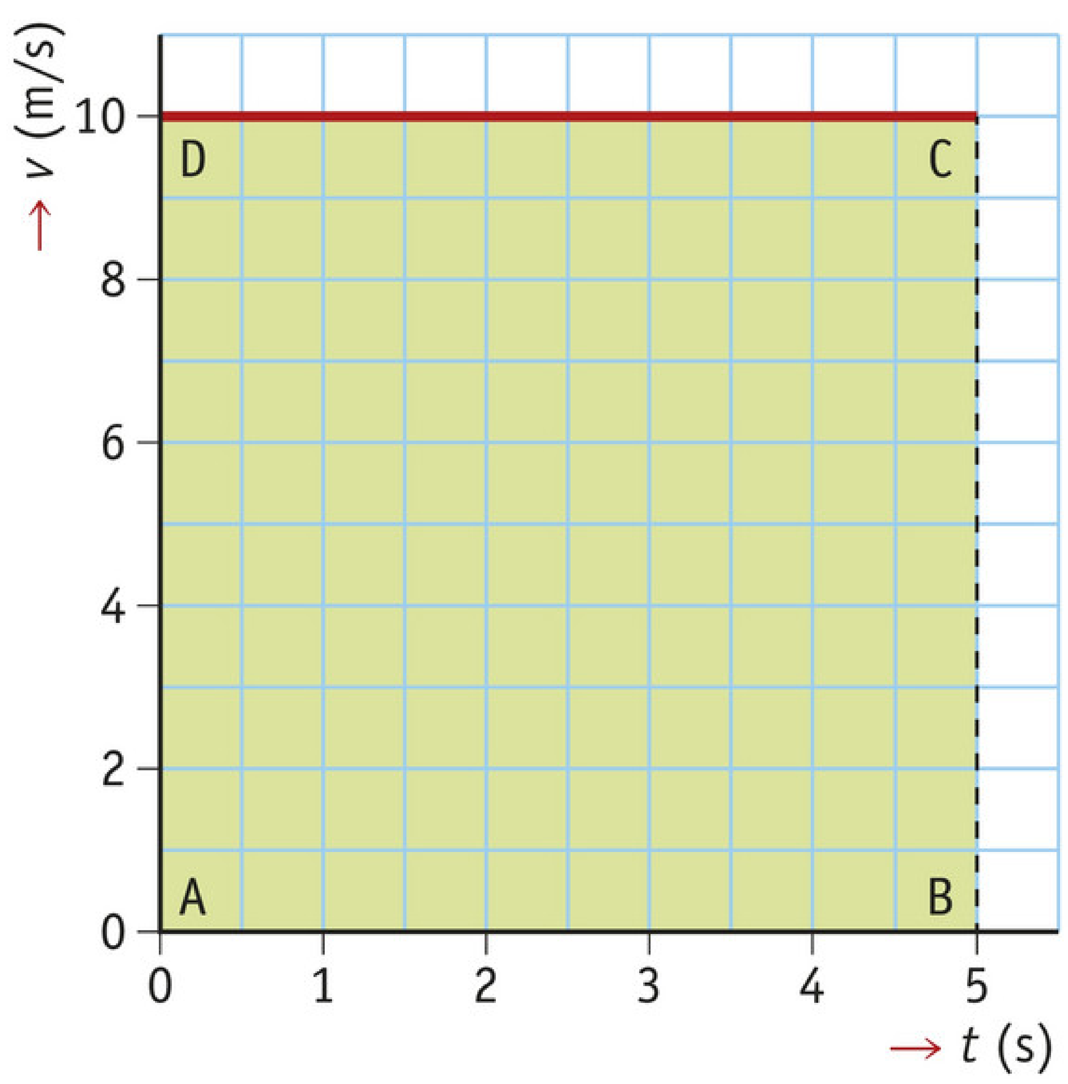
De snelheid van de auto neemt dus elke seconde toe met 2,5 m/s (= 9,0 km/h).

## De afgelegde afstand bepalen

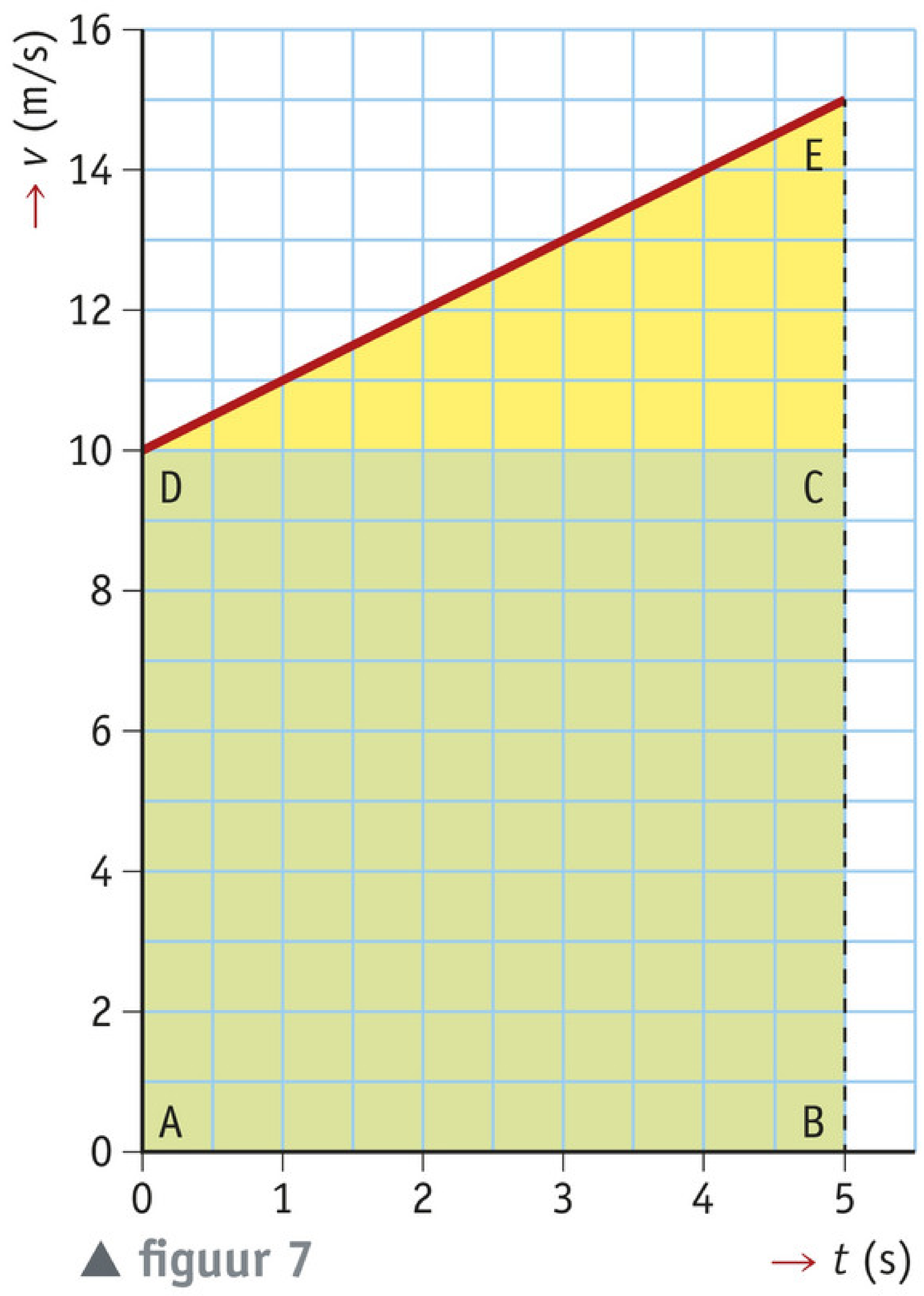
Als een auto versneld beweegt, legt hij tijdens die beweging een bepaalde afstand af. Je kunt de afgelegde afstand bepalen met het $(v,t)$-diagram van de beweging. Bepalen wil in dit geval zeggen dat je de afstand berekent met behulp van de grafiek.

In figuur 6 zie je het $(v,t)$-diagram van een wielrenner die eenparig beweegt, met een (constante) snelheid van 10 m/s. De afstand die de wielrenner na 5,0 s heeft afgelegd, kun je berekenen met $s = v \cdot t = 10 \times 5{,}0 = 50$ m. Dit komt overeen met de oppervlakte onder het $(v,t)$-diagram = de oppervlakte van rechthoek ABCD.

Ook bij een eenparig versnelde beweging kun je de afgelegde afstand vinden, door de oppervlakte onder het $(v,t)$-diagram te bepalen.




◀ **figuur 6**
het $(v,t)$-diagram van een eenparige beweging




▲ **figuur 7**
het ($v$,$t$)-diagram van een eenparig versnelde beweging

***Voorbeeldopgave 2***
In figuur 7 zie je het ($v$,$t$)-diagram van een skiër die in 5,0 s eenparig versnelt van 36 km/h (10 m/s) naar 54 km/h (15 m/s).
Bepaal de afstand die de skiër heeft afgelegd.

gegevens $v_b$ = 36 km/h = 10 m/s
$v_e$ = 54 km/h = 15 m/s
$t$ = 5,0 s

gevraagd $s$ = ?

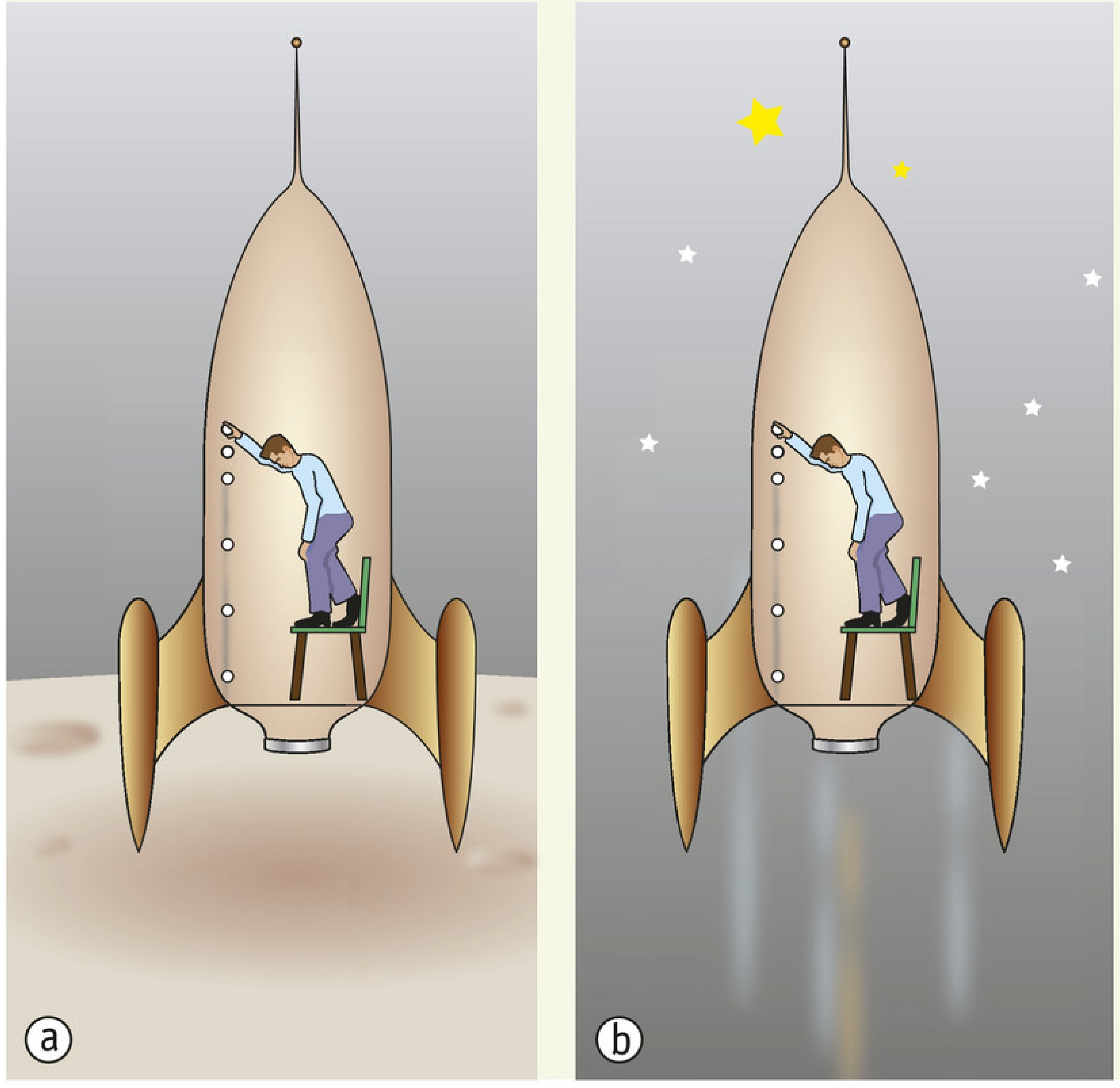
uitwerking De afgelegde afstand is gelijk aan de oppervlakte onder het ($v$,$t$)-diagram:
$s$ = oppervlakte rechthoek ABCD + oppervlakte driehoek DCE
= 5 × 10 + ½ × 5 × (15 − 10) ≈ 63 m

De skiër legt dus een afstand af van 63 m.

## **Plus** Zwaartekracht als versnelling

In het begin van de twintigste eeuw publiceerde Albert Einstein zijn algemene relativiteitstheorie. Aan de basis van deze theorie ligt een beroemd, door Einstein verzonnen gedachte-experiment. Stel je voor dat je je in een lift bevindt die in vrije val naar de aarde toe beweegt. Je zult dan in de liftcabine rondzweven, omdat de lift even snel valt als jijzelf. Zolang je niet naar buiten kijkt, lijkt het alsof de zwaartekracht afwezig is.

▼ **figuur 8**
Het maakt niet uit waar je een experiment uitvoert: op aarde (a) of in een met 9,8 m/s² versnellend ruimteschip (b).




Einstein stelde zich voor wat er gebeurt, als een lift in vrije val opeens gaat versnellen. Het is dan net alsof de zwaartekracht plotseling wordt ingeschakeld. Alle dingen om je heen krijgen weer gewicht. Het maakt geen verschil of je op aarde bent waar de valversnelling 9,8 m/s² is of in een lift die met 9,8 m/s² versnelt: de dingen gedragen zich in beide situaties op dezelfde manier (figuur 8).

Einstein concludeerde uit zijn gedachte-experiment dat je de effecten van versnelling en van zwaartekracht niet van elkaar kunt onderscheiden Dit 'beginsel van gelijkwaardigheid' is een van de fundamenten van de algemene relativiteitstheorie. Tegenwoordig kun je dit idee testen in een ruimteschip: een moderne variant op de lift van Einstein.

## opgaven Leerstof

**1** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Hoe noem je een beweging waarvan:
- de snelheid gelijkmatig groter wordt.
- de snelheid de hele tijd even groot blijft?

**b** Met welke formule kun je de versnelling van een bewegend voorwerp berekenen?

**c** Wat wordt bedoeld met de uitspraak: de versnelling van het voorwerp is 3 $m/s^2$?

**d** Hoe kun je de afgelegde afstand bepalen uit het ($v$,$t$)-diagram van een beweging?

**2** Wat is juist? Als een auto in 2 s versnelt van 3 m/s naar 7 m/s,

A is de snelheid 2 m/s.
B is de snelheid 4 m/s.
C is de versnelling 2 $m/s^2$.
D is de versnelling 4 $m/s^2$.

**3** Neem tabel 1 over en vul in.

▼ **tabel 1** enkele grootheden en eenheden

| grootheid | symbool | eenheid | symbool |
|---|---|---|---|
| afstand | | | m |
| | | seconde | |
| | | | m/s |
| | *a* | | |

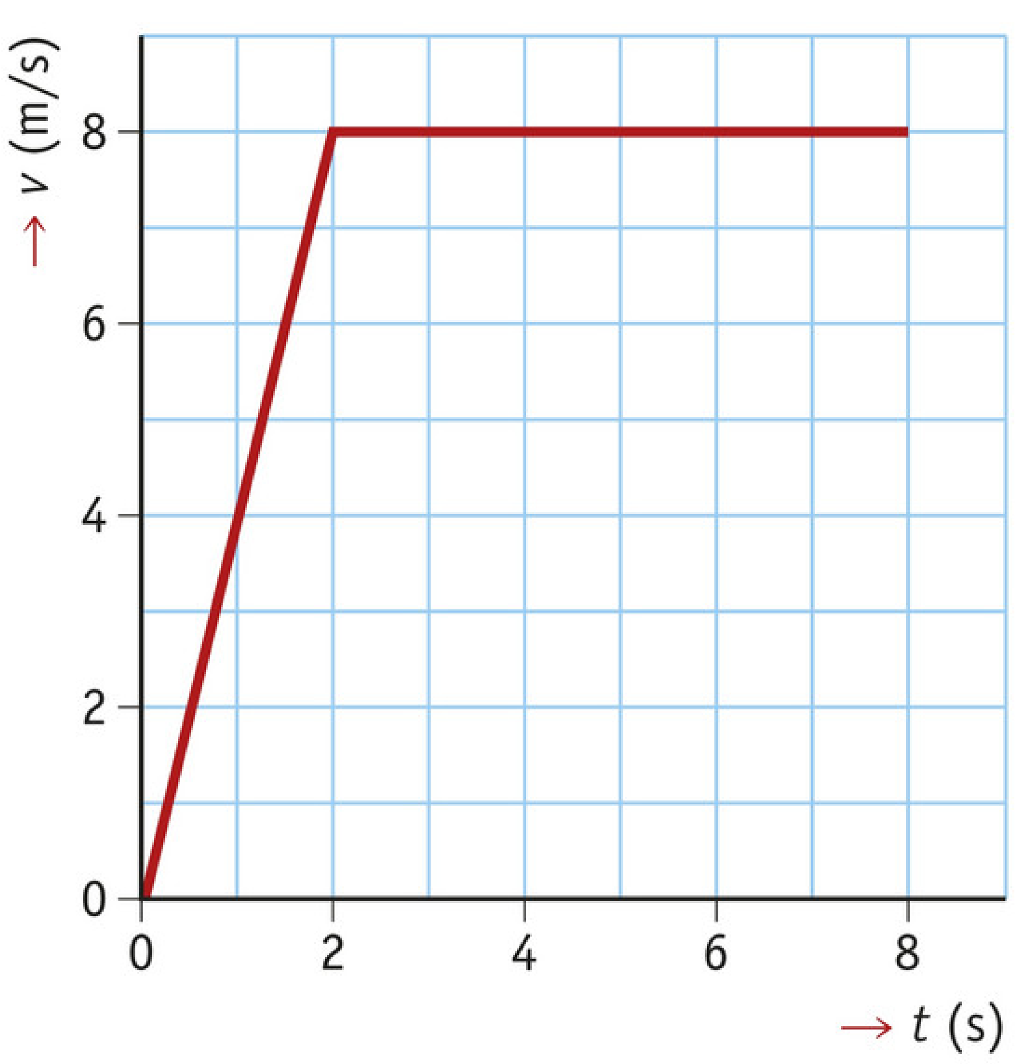
## Toepassing

**4** Schets het ($v$,$t$)-diagram van:

**a** een schaatsenrijder die in 40 s een rondje rijdt op de ijsbaan, met een constante snelheid van 36 km/h.

**b** een skispringer die eenparig versneld een skischans afdaalt. Als hij na 12 s de schans verlaat, is zijn snelheid 90 km/h.

**c** een automobilist die bij een inhaalmanoeuvre in 3,0 s versnelt van 63 naar 81 km/h.




▲ **figuur 9**
het ($v$,$t$)-diagram van Wietske

**5** In figuur 9 zie je het ($v$,$t$)-diagram van Wietske op haar scooter.

**a** Bepaal de versnelling van Wietske gedurende de eerste 2,0 s.

**b** Bepaal de afstand die Wietske aflegt in de eerste 8,0 s van haar rit.

**6** Een auto rijdt met een snelheid van 63 km/h. De automobilist geeft meer gas, waardoor zijn snelheid in 5,0 s toeneemt tot 90 km/h.

**a** Bereken de versnelling van de auto in $m/s^2$.

**b** Bepaal de afstand die de auto tijdens de beweging aflegt. Schets daarvoor eerst het ($v$,$t$)-diagram.



# Versnelling, niet snelheid, maakt jachtluipaard topjager

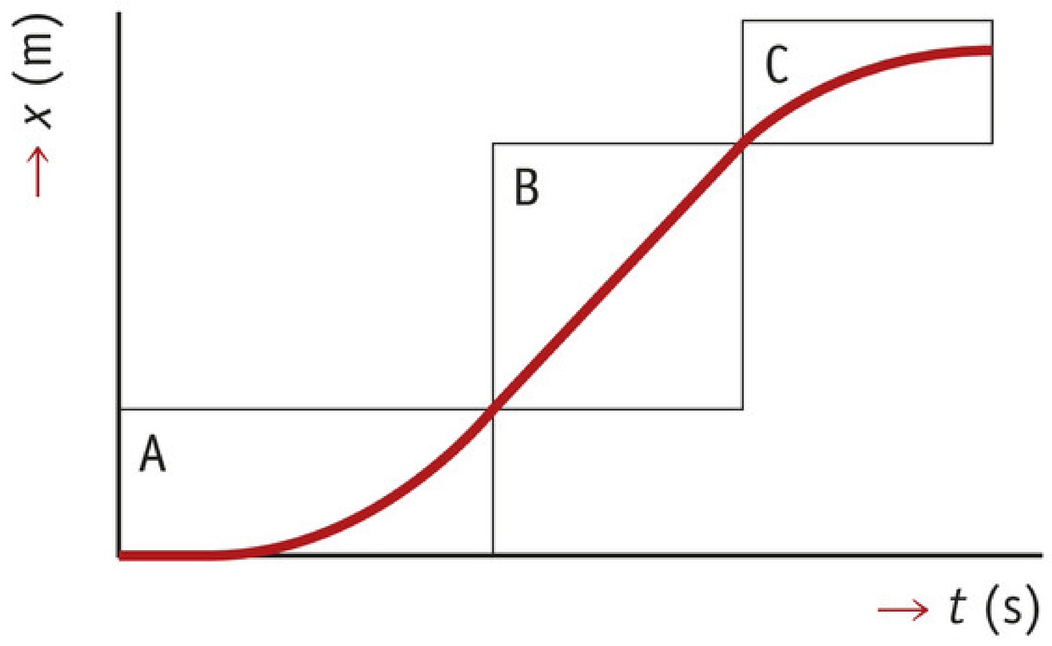
Het jachtluipaard behaalt zelden de topsnelheid (27 m/s) waar hij voor bekendstaat. Maar het dier heeft een enorme versnelling en is extreem wendbaar. Britse wetenschappers maten de snelheid van wilde cheeta's en vonden een gemiddelde topsnelheid van 'amper' 14,9 m/s. Ter vergelijking: een topsprinter haalt 12 m/s.
De dieren hebben echter een ander groot voordeel in de jacht: hun spieren kunnen zeer snel samentrekken. In één stap kunnen de dieren 3 m/s versnellen of 4 m/s vertragen. Vertragen doen ze altijd vlak voor ze van richting veranderen: zo kunnen ze een veel scherpere bocht nemen.

▲ **figuur 10**
een artikel over jachtluipaarden

**7** Een vliegtuig versnelt in 50 s van 0 naar 310 km/h en stijgt vervolgens op. Een sportwagen versnelt in 15 s van 0 naar 100 km/h.
Laat met een berekening zien in welke situatie de (gemiddelde) versnelling het grootst is.

**8** Lees het krantenartikel in figuur 10.
- **a** Bereken de topsnelheid van het jachtluipaard in km/h.
- **b** In de tekst staat dat de snelheid van het jachtluipaard per stap toeneemt met 3 m/s.
  Leg uit hoeveel stappen het jachtluipaard minimaal nodig heeft om een topsnelheid van 27 m/s te bereiken.
- **c** Metingen hebben aangetoond dat één stap van een jachtluipaard 0,45 s duurt.
  Bereken de versnelling van het jachtluipaard.

***9** In figuur 11 zie je het $(x,t)$-diagram van een sprinter in een hardloopwedstrijd.
- **a** Hoe beweegt de sprinter (eenparig, versneld of vertraagd):
  - in deel A van de beweging?
  - in deel B van de beweging?
  - in deel C van de beweging?
- **b** Leg uit of de gemiddelde snelheid in deel B groter of kleiner is dan de gemiddelde snelheid in deel C, of precies even groot.
- **c** De eerste 2,0 s rende de sprinter met een constante versnelling van 4,0 m/s$^2$.
  Bereken welke snelheid de sprinter na die 2,0 s had bereikt.




◀ **figuur 11**
het $(x,t)$-diagram van de sprinter

## Plus Zwaartekracht als versnelling

**10** Een ruimtevaarder bevindt zich, ver verwijderd van sterren en planeten, in een ruimteschip waarmee hij met constante snelheid door de ruimte beweegt.
- **a** Leg uit hoe het komt dat de ruimtevaarder in de cabine zweeft.
- **b** Plotseling begint het ruimteschip te versnellen.
  Leg uit waaraan de ruimtevaarder dit zal merken.

**11** Volgens de relativiteitstheorie kan geen enkel voorwerp worden versneld tot boven de lichtsnelheid (300 000 km/s). Stel dat een doorsnee auto, met een versnelling van 4,0 m/s$^2$, zou kunnen optrekken tot deze snelheid. Bereken hoeveel dagen het dan zou duren voordat de auto de lichtsnelheid had bereikt.

# 2 Voortstuwen en tegenwerken

**Als je op de fiets flink tegenwind hebt, kom je maar langzaam vooruit. Ook als er een dik pak sneeuw op de weg ligt, kost fietsen veel inspanning. De krachten die je beweging tegenwerken, zijn dan groter dan anders.**

## Voortstuwende en tegenwerkende krachten

Als je fietst, leveren je spieren de voortstuwende kracht die nodig is om vooruit te komen. Als je stopt met trappen, neemt je snelheid meteen af. Dat komt doordat er verschillende tegenwerkende krachten zijn, die op jou en je fiets werken. De twee belangrijkste daarvan zijn de **luchtwrijving** en de **rolwrijving**.

De luchtwrijving ontstaat doordat je de lucht voor je steeds opzij moet duwen. Hoe sneller je beweegt, hoe meer luchtwrijving je ondervindt. Je kunt de luchtwrijving verminderen door je stroomlijn te verbeteren en door voorovergebogen op je fiets te zitten (figuur 12). Je hoeft dan minder lucht opzij te duwen, omdat je **frontale oppervlak** – het oppervlak gezien van voren – dan kleiner is.



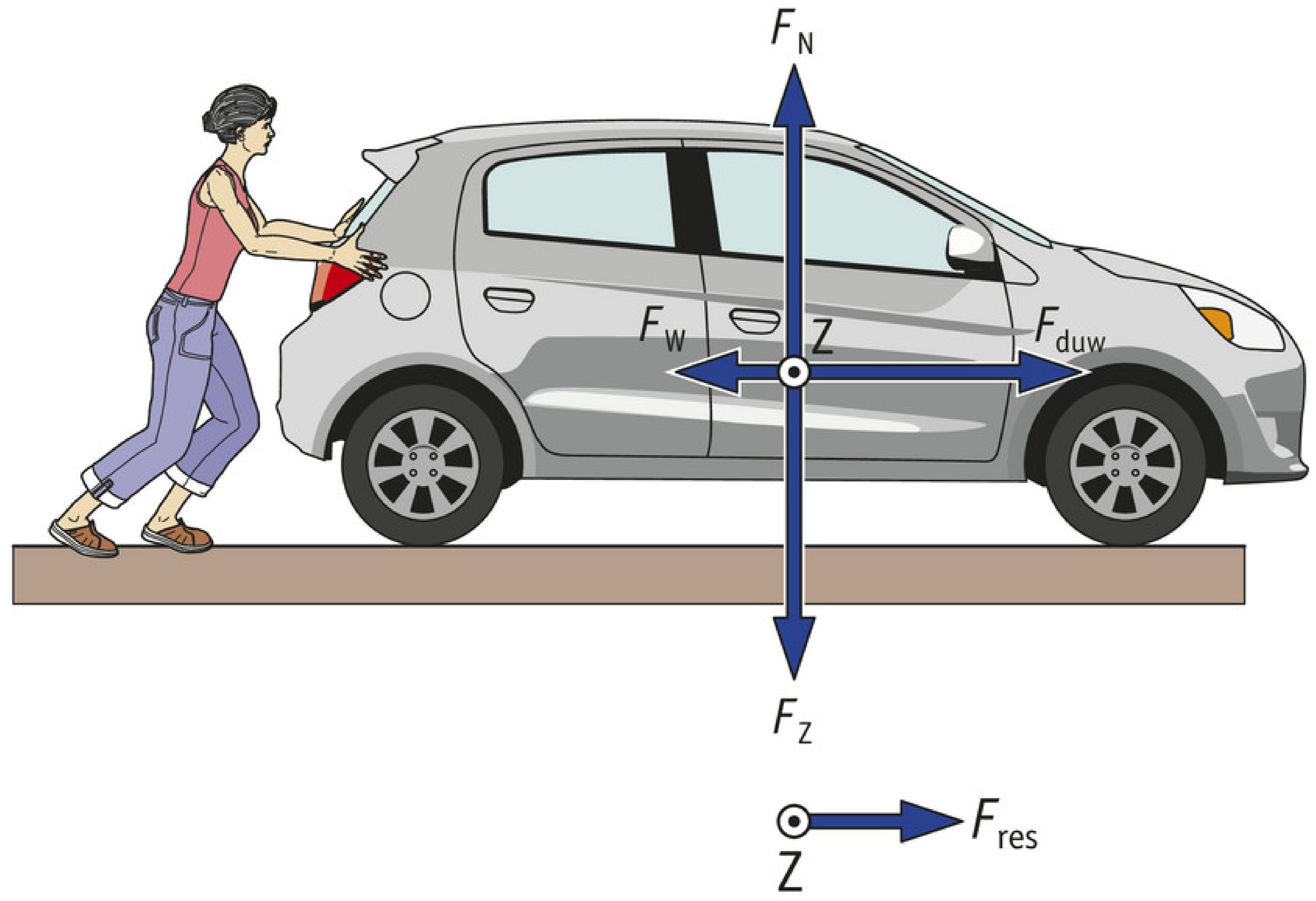
▲ **figuur 12**
een wielrenner met stroomlijn

De rolwrijving ontstaat doordat de banden en de ondergrond vervormen tijdens het fietsen. Hoe groter die vervorming is, des te groter is de rolwrijving. Dit merk je bijvoorbeeld als je door mul zand rijdt. Wegen en fietspaden hebben daarom een vlak en hard wegdek. Je kunt de rolwrijving verminderen door je banden keihard op te pompen.

## De resultante

In figuur 13 zie je een auto die vanuit stilstand wordt aangeduwd. Op de auto werken vier krachten: de zwaartekracht $F_z$, de normaalkracht $F_N$, de duwkracht $F_{duw}$ en de wrijvingskracht $F_w$. Deze krachten grijpen aan op verschillende plaatsen, maar zijn in deze figuur allemaal getekend vanuit het zwaartepunt Z. Zo kun je gemakkelijker de resultante $F_{res}$ bepalen.

Zoals je in figuur 13 kunt zien, heffen de zwaartekracht en de normaalkracht elkaar op: ze zijn even groot en tegengesteld gericht. De duwkracht en de wrijvingskracht werken ook in tegengestelde richtingen, maar deze krachten heffen elkaar niet op: de duwkracht is duidelijk groter dan de wrijvingskracht. Dat betekent dat er een resultante is die naar rechts werkt (in de bewegingsrichting van de auto).




▶ **figuur 13**
vier krachten en hun resultante

## De resultante laat de snelheid veranderen Proef 2

Als je zachtjes tegen een auto duwt, ontstaan er tegenwerkende krachten die precies even groot zijn als jouw duwkracht. De resultante blijft daardoor 0 N. De auto komt in dat geval niet in beweging.

Als je steeds harder gaat duwen, worden de tegenwerkende krachten ook steeds groter. Op een gegeven moment kunnen de tegenwerkende krachten ($F_w$) de voortstuwende kracht ($F_{vs}$) niet meer compenseren. De resultante wordt dan groter dan 0 N. De auto begint als gevolg daarvan steeds sneller te bewegen in de richting van de resultante (figuur 14).

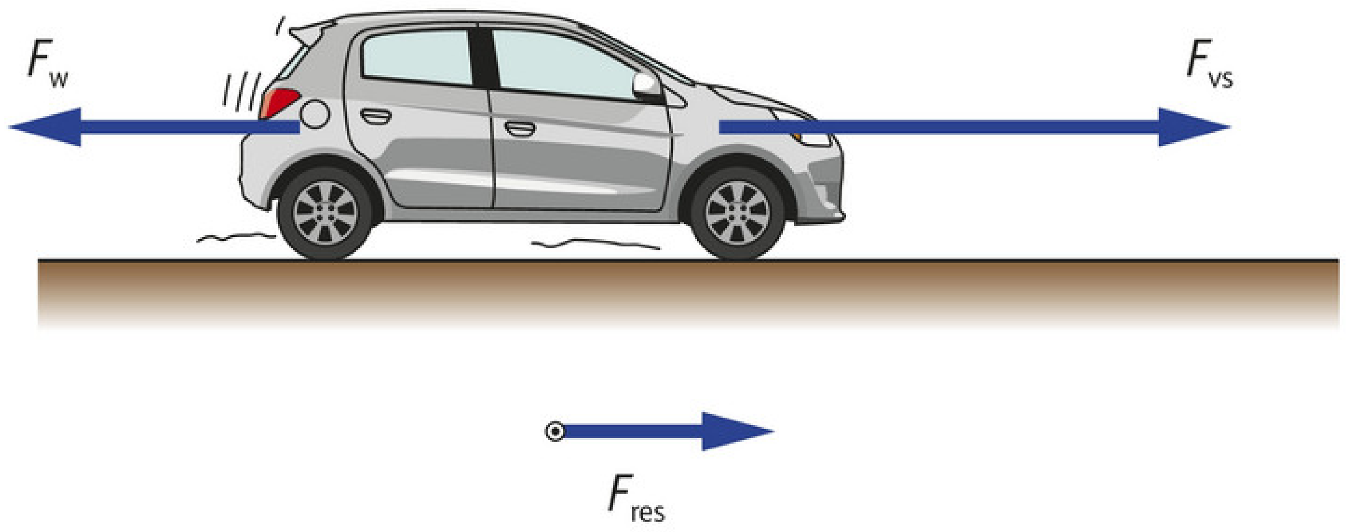
- Als de voortstuwende kracht op een voorwerp groter is dan alle tegenwerkende krachten samen, beweegt het voorwerp versneld.

Als de auto de gewenste snelheid heeft, duw je iets minder hard. De voortstuwende kracht en de tegenwerkende krachten worden dan weer even groot. De resultante is opnieuw 0 N en de auto beweegt met constante snelheid verder (figuur 15).

- Als de voortstuwende kracht op het voorwerp even groot is als alle tegenwerkende krachten samen, verandert de snelheid niet.

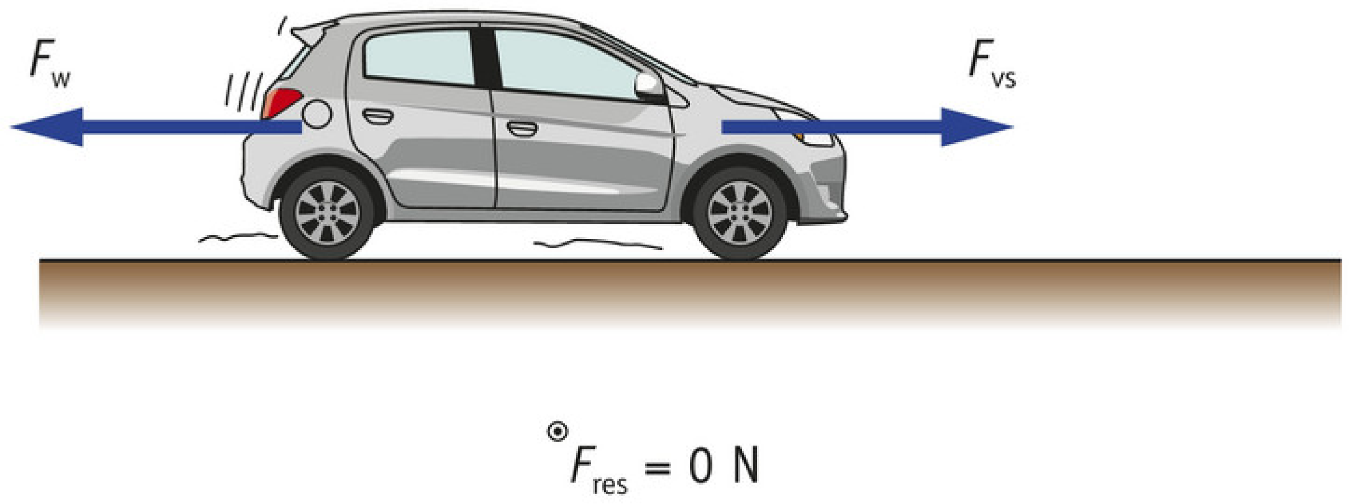
Met andere woorden: als de resultante op een voorwerp 0 N is en het voorwerp beweegt al, dan beweegt het met dezelfde snelheid verder. Staat het voorwerp stil, dan blijft het ook stilstaan.

Deze regel staat ook wel bekend als de Eerste wet van Newton.



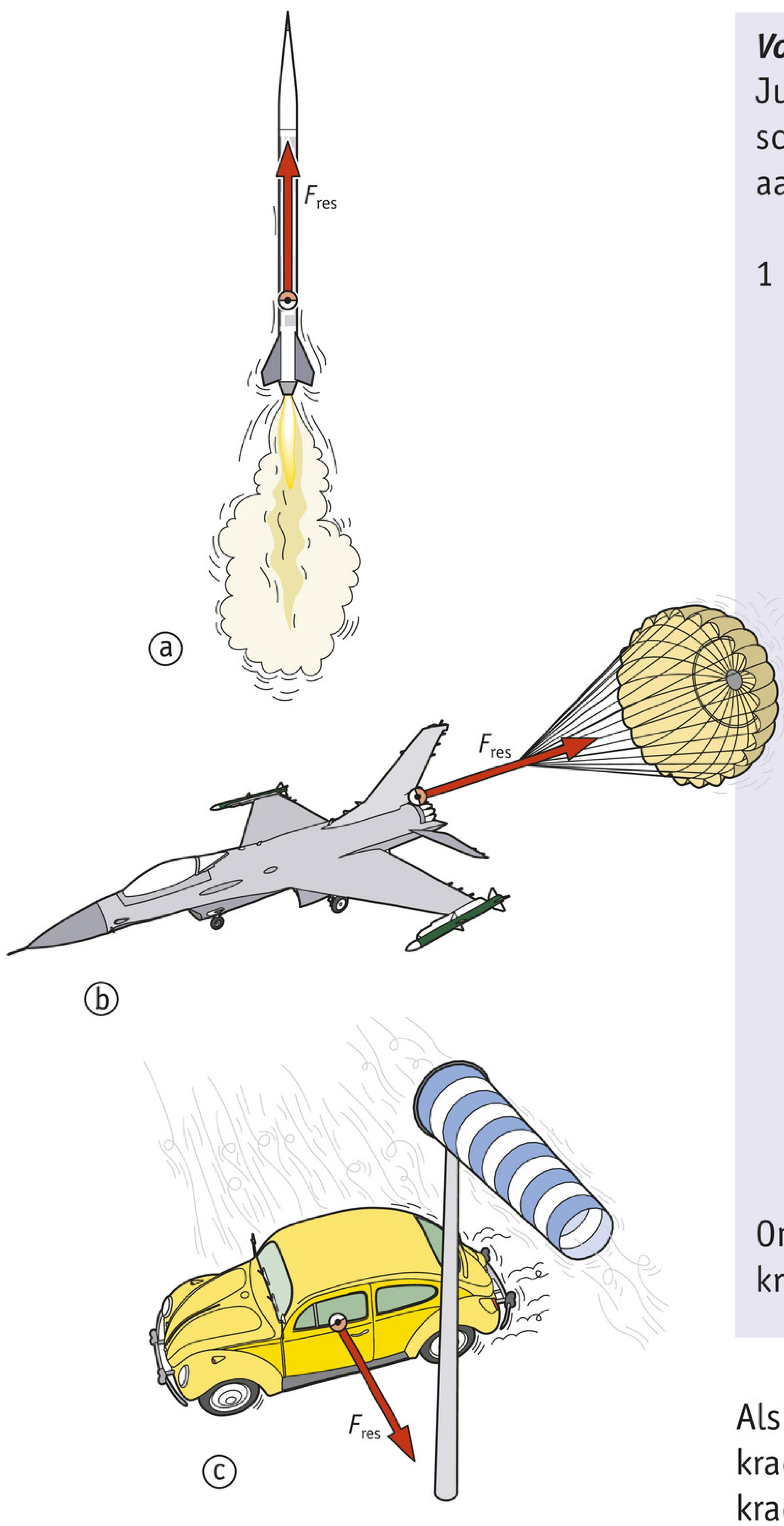

De auto versnelt: de resultante werkt in dezelfde richting als de bewegingsrichting.

▲ **figuur 14**
$F_{res}$ > 0: de auto versnelt.




De auto rijdt met een constante snelheid: de resultante is 0 N.

▲ **figuur 15**
$F_{res}$ = 0: de auto beweegt eenparig.




▲ **figuur 17**
De raket beweegt versneld, het vliegtuig beweegt vertraagd en de auto verandert van richting.

***Voorbeeldopgave 3***
Jules rijdt met constante snelheid over de dijk, tegen de wind in naar school. De voortstuwende kracht ($F_{vs}$) op zijn fiets is voortdurend gelijk aan 30 N.

1 Bereken de wrijvingskracht.

gegevens $F_{vs} = 30$ N

gevraagd $F_w = ?$

uitwerking De resultante is 0 N, omdat Jules met constante snelheid beweegt. Er geldt dus $F_w = F_{vs} = 30$ N.

Plotseling gaat de wind even liggen, waardoor de totale wrijvingskracht daalt tot 20 N.
Bereken hoe groot de resultante op Jules dan wordt. Leg uit hoe de beweging van Jules daardoor verandert.

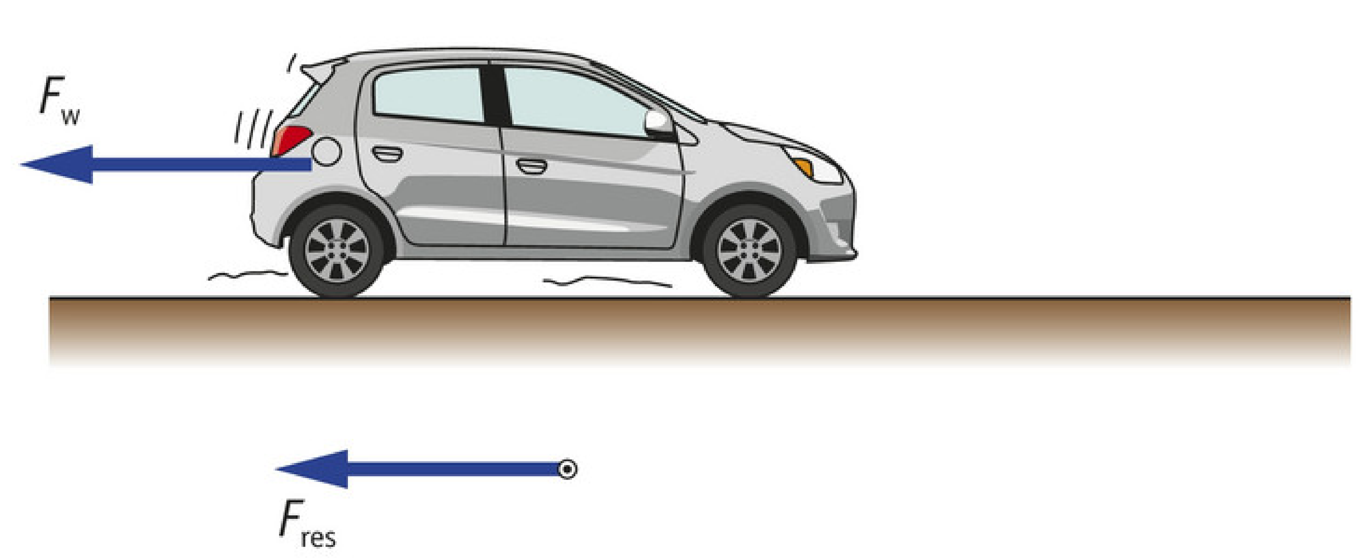
gegevens $F_{vs} = 30$ N
$F_w = 20$ N

gevraagd $F_{res} = ?$

uitwerking De resultante is $F_{res} = F_{vs} - F_w = 30\text{ N} - 20\text{ N} = 10\text{ N}$.

Omdat de voortstuwende kracht groter is dan alle tegenwerkende krachten samen, zal Jules' snelheid toenemen: hij versnelt.

Als je na een tijdje stopt met duwen, blijven alleen de tegenwerkende krachten over. De resultante is dan even groot als alle tegenwerkende krachten samen en werkt tegen de bewegingsrichting in (figuur 16). De auto vertraagt nu en komt ten slotte tot stilstand.




▶ **figuur 16**
$F_{res} < 0$: de auto vertraagt.

– Als de voortstuwende kracht op het voorwerp kleiner is dan alle tegenwerkende krachten samen, beweegt het voorwerp vertraagd.

### De resultante laat de richting veranderen

De resultante laat het voorwerp versnellen als hij in de bewegingsrichting werkt, zoals in figuur 17a. Hij laat het voorwerp vertragen als hij tegen de bewegingsrichting in werkt, zoals in figuur 17b. Maar de resultante kan een bewegend voorwerp ook van richting laten veranderen. Dat gebeurt bijvoorbeeld, als er opeens een harde windstoot komt van opzij.

Als de resultante loodrecht op de bewegingsrichting staat, zoals in figuur 17c, verandert alleen de richting van de beweging; de snelheid van het voorwerp blijft dan even groot. Als de resultante een andere hoek met de bewegingsrichting maakt, veranderen zowel de snelheid als de bewegingsrichting.

## Plus Skydiven

Skydiven is een populaire sport waarbij mensen uit een vliegtuig springen en daarna een tijd lang ‘vrij’ naar beneden vallen. Daarna trekken ze hun parachute open en zweven ze met een veel lagere snelheid naar de grond. Bij de meeste sprongen duurt de vrije val ongeveer één minuut.

Tijdens de vrije val voeren de skydivers vaak allerlei oefeningen uit. Afhankelijk van de lichaamshouding van de springer kunnen snelheden worden bereikt van 180 tot meer dan 300 km/h. Deze maximale snelheid wordt bereikt als de skydiver met zijn hoofd naar beneden valt.

Door het veranderen van de vorm van zijn lichaam kan de skydiver meer of minder wind vangen. Bij de ‘buikligging’ (figuur 18) maakt de parachutespringer zijn lichaamsoppervlak zo groot mogelijk. Op die manier verhoogt hij de luchtweerstand die hij ondervindt. Bij deze ligging ligt de eindsnelheid rond de 180 km/h.



◀ **figuur 18**
een skydiver in buikligging

**12** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waardoor ontstaan de luchtwrijving en de rolweerstand op een rijdende auto?
- **b** Hoe kan een fietser de luchtweerstand verminderen die op zijn lichaam werkt?
- **c** Waarom pompt een wielrenster de banden van haar fiets zo hard mogelijk op?
- **d** Wat zegt de Eerste wet van Newton over een voorwerp dat al in beweging is?

**13** Op welke manier beweegt een voorwerp:
- **a** als de resultante in de bewegingsrichting werkt?
- **b** als de resultante op het voorwerp gelijk is aan 0 N?
- **c** als de resultante tegen de bewegingsrichting in werkt?
- **d** als de resultante loodrecht op de bewegingsrichting staat?

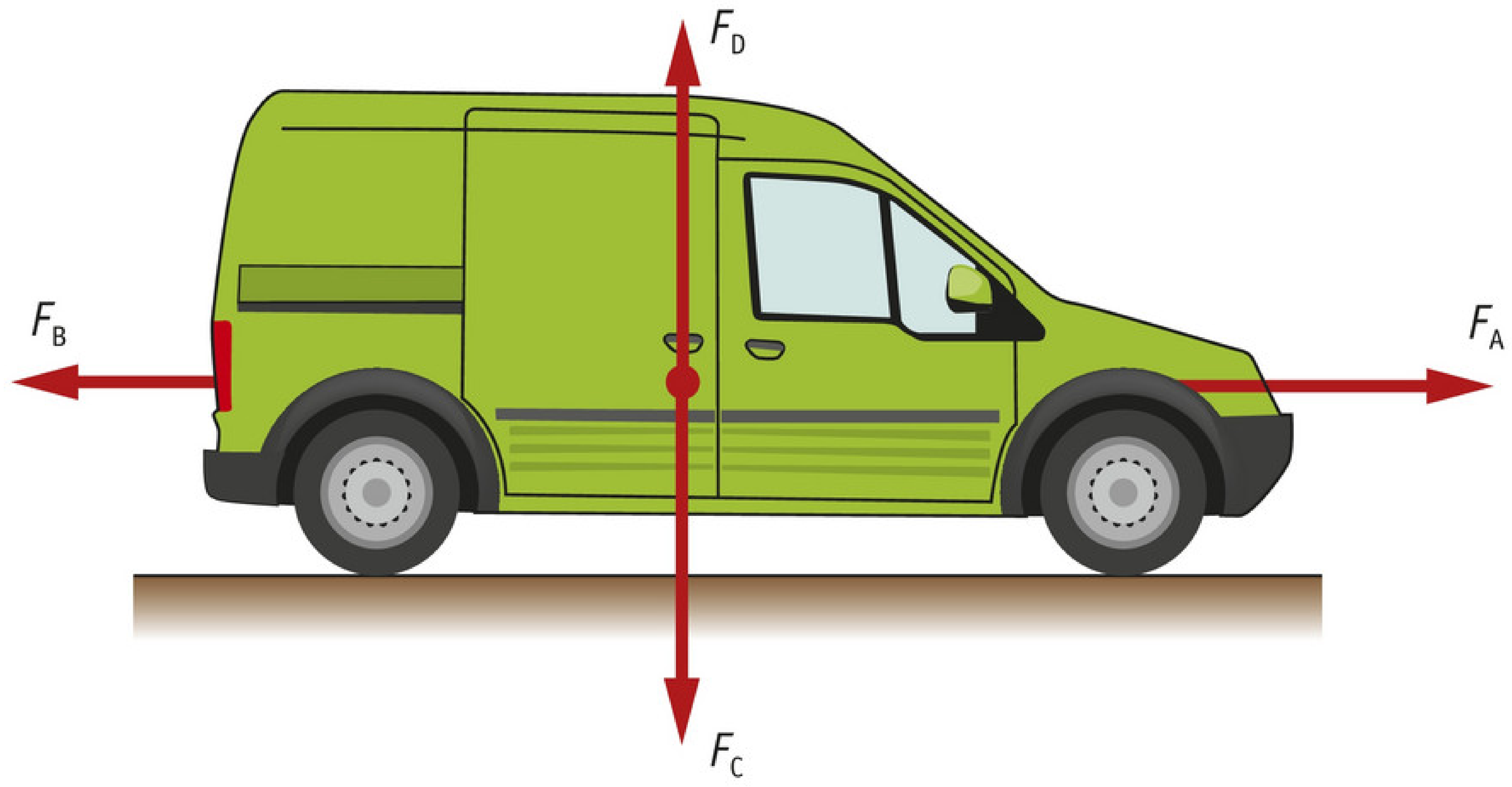
## Toepassing

**14** Tijdens een demarrage (een poging om uit het peloton weg te fietsen) versnelt een wielrenner in korte tijd van 45 naar 68 km/h.
Beredeneer of de grootte van de tegenwerkende krachten daardoor ook verandert en zo ja, hoe.

**15** Marlous trekt een slee met haar vriendinnetje erop door de sneeuw. Ze trekt met een kracht van 50 N. De slee beweegt met een constante snelheid van 4 km/h door de sneeuw.
- **a** Welke kracht werkt hier vooral de beweging tegen?
- **b** Hoe groot is de resulterende kracht die op de slee werkt?

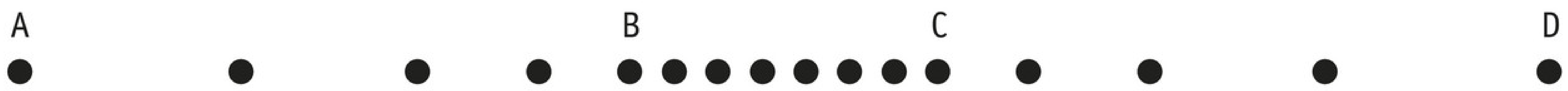
**16** Een verhuizer oefent een (horizontale) kracht van 600 N op een kist uit, waarbij de kist niet verschuift.
- **a** Hoe groot is de wrijvingskracht, zolang de verhuizer duwt?
- **b** Hoe groot is de wrijvingskracht als de verhuizer stopt met duwen?
- **c** Als de verhuizer even later met 900 N duwt, beweegt de kist met een constante snelheid over de vloer.
  Hoe groot is de wrijvingskracht dan? Licht je antwoord toe.

**17** Op een rijdend busje werken vier krachten $F_A$, $F_B$, $F_C$ en $F_D$ (figuur 19).
- **a** Geef de namen van deze vier krachten.
- **b** De grootte van de krachten $F_A$ en $F_B$ kan veranderen.
  Wanneer is $F_B$ gelijk aan 0 N?
- **c** Hoe beweegt het busje als:
  - $F_A > F_B$?
  - $F_A = F_B$?
  - $F_A < F_B$?




▶ **figuur 19**
de krachten op een busje

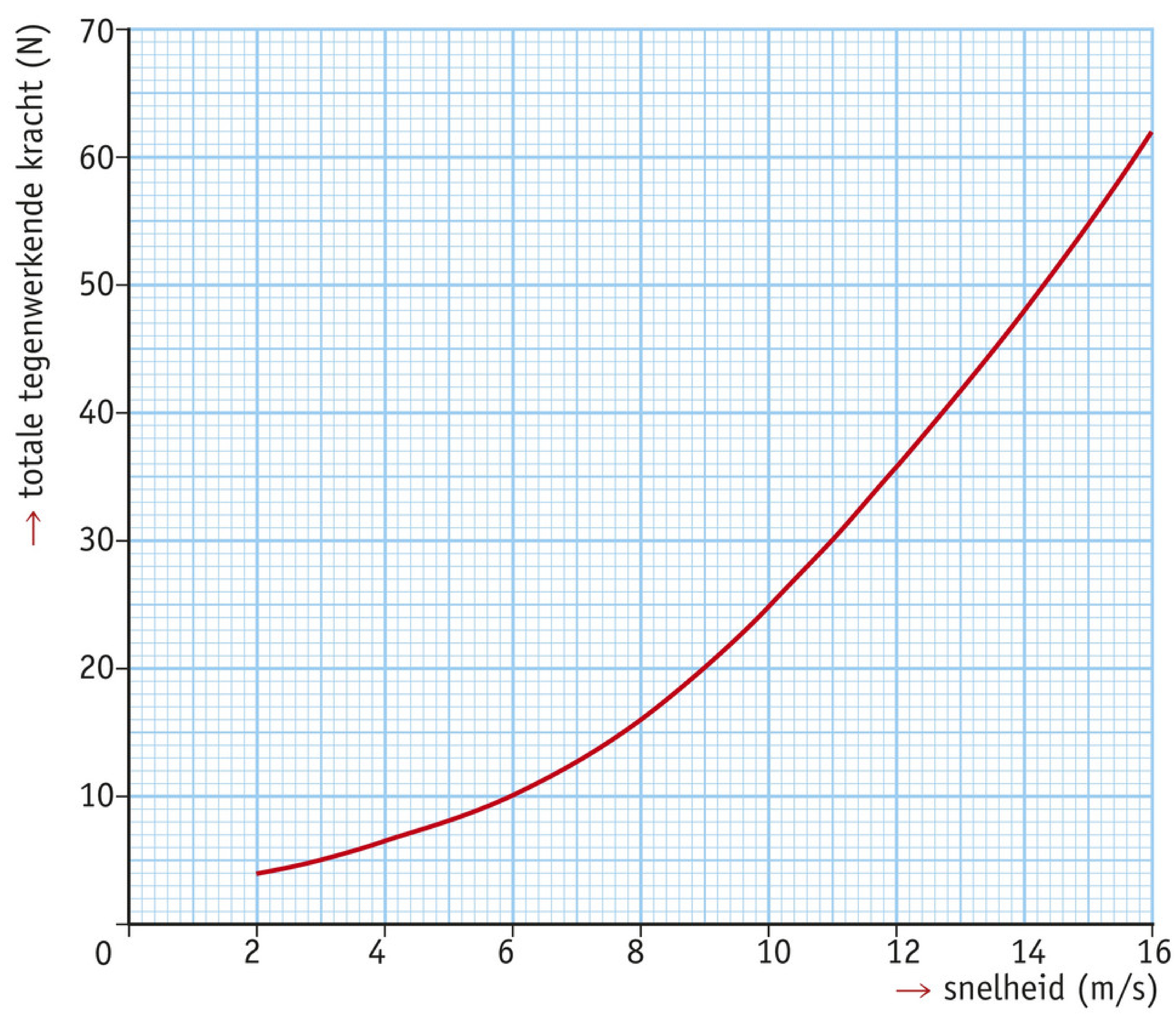
**d** Het busje heeft een lekkage en verliest elke seconde een druppel olie. In figuur 20 zie je het oliespoor dat het busje achterlaat op de weg. Het busje bewoog van links naar rechts.
Leg uit hoe het busje bewoog:
– tussen A en B.
– tussen B en C.
– tussen C en D.




▶ **figuur 20**
een oliespoor

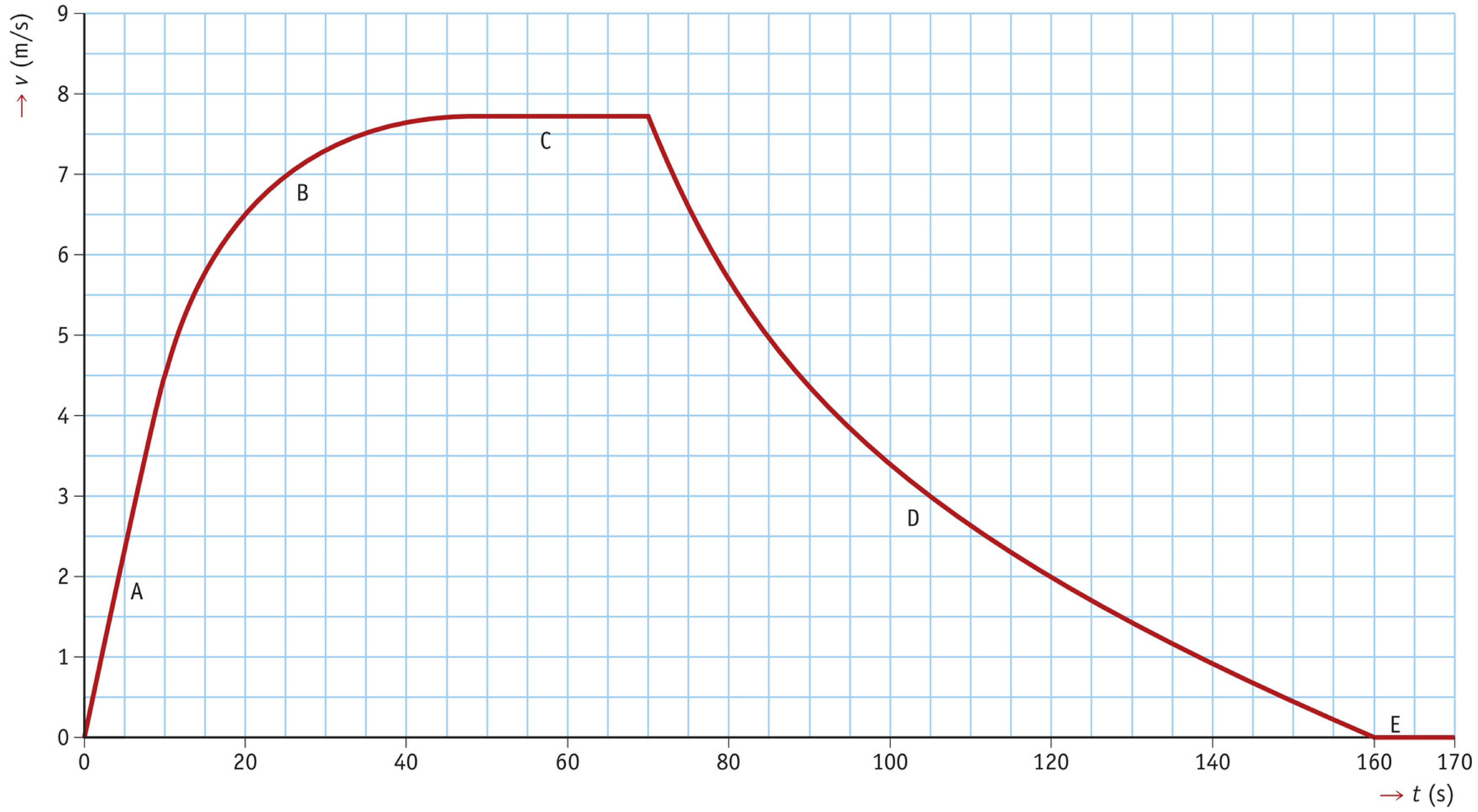
schaal 1:1000

**18** Carla traint regelmatig op haar racefiets. In figuur 21 is het verband getekend tussen de (totale) tegenwerkende kracht en haar snelheid.
**a** Carla rijdt eerst een poosje met een constante snelheid van 11 m/s. Bepaal de grootte van de voortstuwende kracht.
**b** Op een gegeven moment begint Carla harder te trappen. Op haar fiets werkt dan enige tijd een (constante) voortstuwende kracht van 40 N. Hoe groot is de resultante op het moment dat ze begint te versnellen?
**c** Bepaal de snelheid die Carla uiteindelijk bereikt.




▶ **figuur 21**
het verband tussen de snelheid en de tegenwerkende kracht

**19** Jantine rijdt een klein eindje op haar fiets. In figuur 22 zie je het ($v$,$t$)-diagram van haar beweging. Het diagram is verdeeld in vijf delen: A, B, C, D en E.
Is $F_{vs}$ groter dan $F_w$, gelijk aan $F_w$ of kleiner dan $F_w$:
**a** in deel A van de beweging?
**b** in deel B van de beweging?
**c** in deel C van de beweging?
**d** in deel D van de beweging?
**e** in deel E van de beweging?




▲ **figuur 22**
het ($v$,$t$)-diagram van Jantines beweging

***20** Op een liftkooi werken twee krachten: de zwaartekracht ($F_z$) en de spankracht in de kabel ($F_s$). De grootte van de wrijvingskracht is te verwaarlozen.
Vergelijk de grootte van $F_z$ met de grootte van $F_s$ in de volgende situaties:
**a** De kooi beweegt omhoog; de snelheid neemt toe.
**b** De kooi beweegt omhoog met een constante snelheid.
**c** De kooi beweegt omhoog; de snelheid neemt af.
**d** De kooi hangt stil zonder te bewegen.
**e** De kooi beweegt omlaag; de snelheid neemt toe.
**f** De kooi beweegt omlaag; de snelheid neemt af.

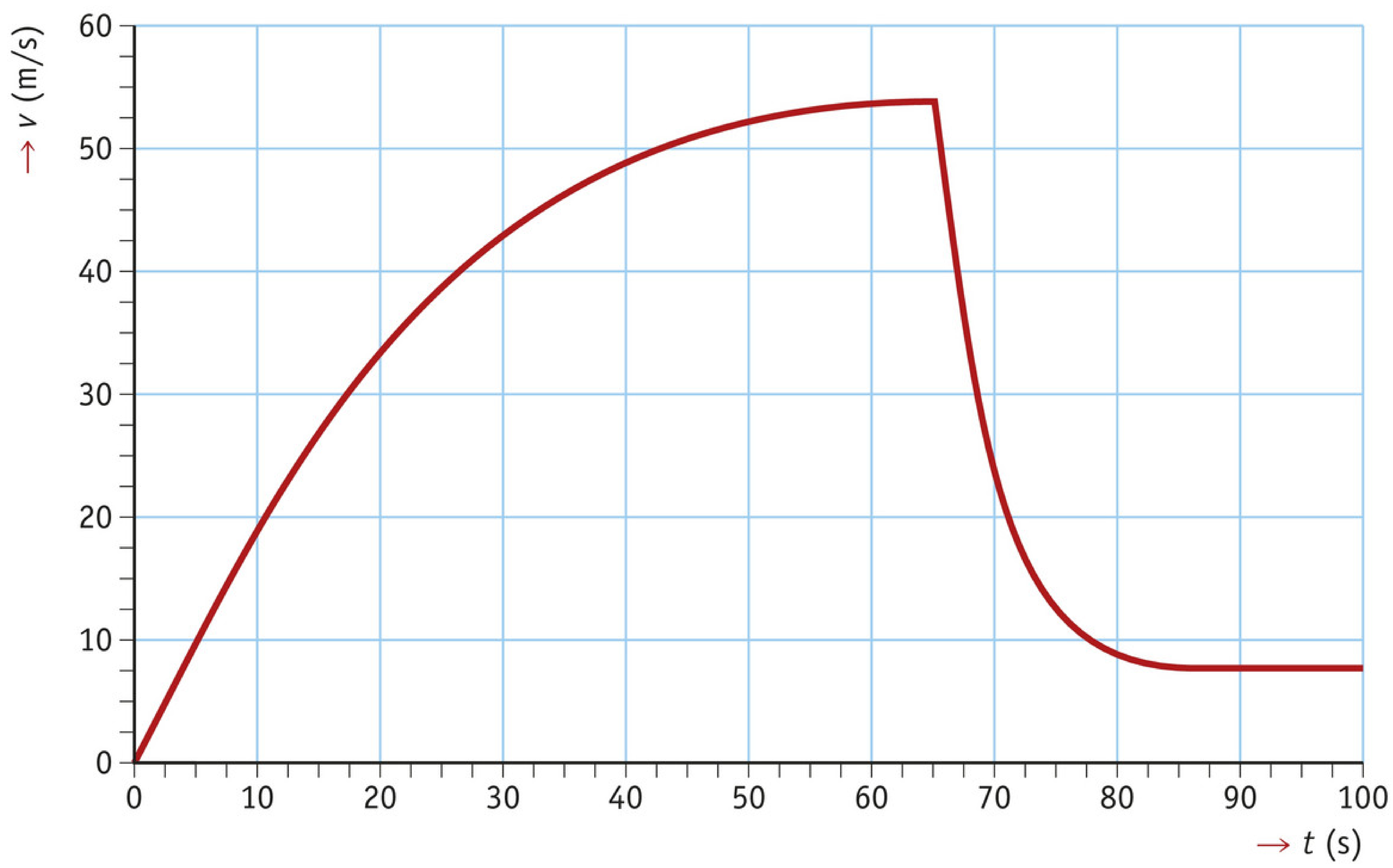
## Plus Skydiven

**21** Een skydiver springt uit een vliegtuig. In figuur 23 zie je twee momentopnamen van zijn sprong. In beide situaties valt de skydiver met een constante snelheid.
Wat kun je zeggen, als je de twee situaties met elkaar vergelijkt:
**a** over de grootte van de resultante?
**b** over de grootte van de snelheid?
**c** over de grootte van de luchtweerstand?

**22** In figuur 24 zie je hoe de snelheid van de skydiver verandert tijdens zijn sprong.
**a** Hoe komt het dat het eerste deel van de grafiek steeds minder steil omhoog loopt?
**b** Op welk tijdstip opende de skydiver zijn parachute? Hoe kun je dat in de grafiek zien?
**c** Bepaal de eindsnelheid van de skydiver tijdens het laatste deel van de beweging.



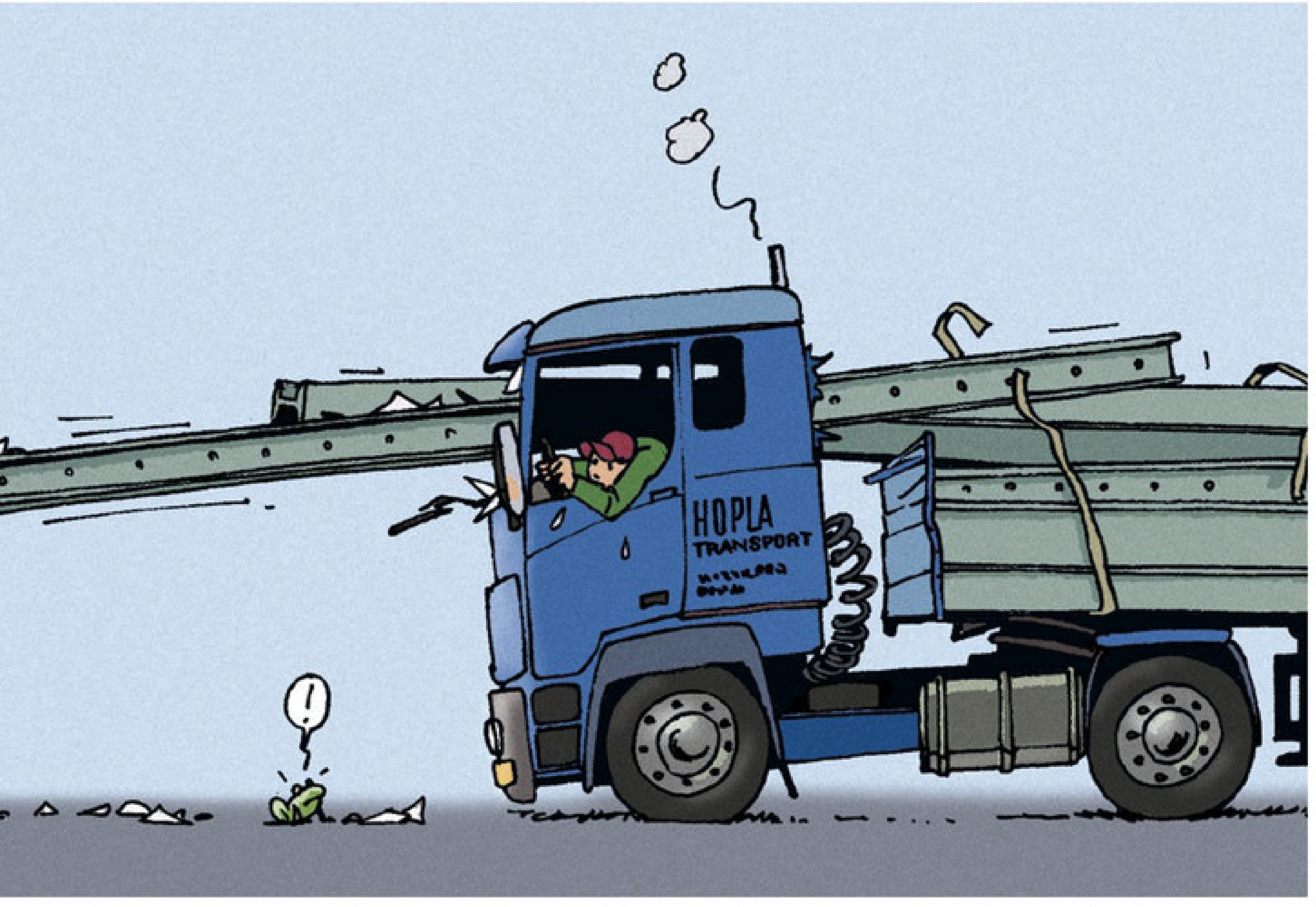
▲ **figuur 23**
een skydiver op twee momenten van zijn sprong




▶ **figuur 24**
het ($v$,$t$)-diagram van de skydiver

# 3 Kracht, massa en versnelling

**Als een vrachtwagen zwaar beladen is, komt hij maar langzaam op gang. Hoe groter de massa van de lading, des te kleiner is de versnelling (als de chauffeur in alle gevallen evenveel gas geeft). Hetzelfde merk je als je probeert weg te rijden terwijl er iemand achter op je fiets zit: het optrekken tot de gewenste snelheid duurt dan veel langer.**




▲ **figuur 25**
Stalen balken hebben een grote massa en daardoor ook een grote traagheid.

## Traagheid

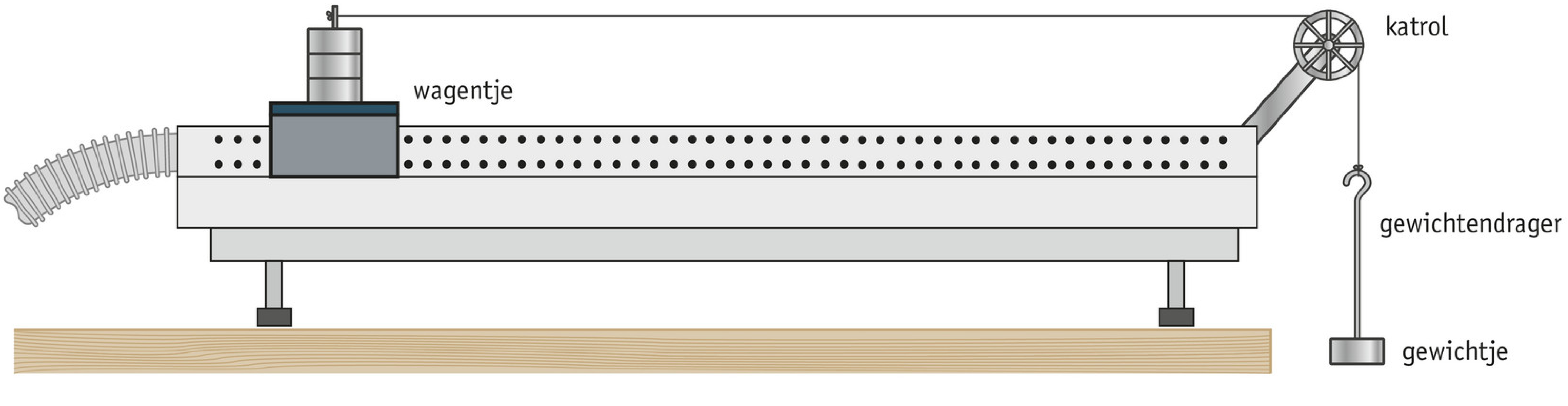
De massa heeft niet alleen invloed op de versnelling, waarmee je een voorwerp kunt laten optrekken. De massa bepaalt ook hoe moeilijk het is om het voorwerp af te remmen of een andere richting op te laten gaan. Hoe groter de massa van een voorwerp, des te moeilijker is het om de snelheid of de bewegingsrichting te veranderen. Een chauffeur rijdt daarom extra voorzichtig, als zijn vrachtauto zwaar beladen is.

Je zegt dat een voorwerp met een grote massa een grote **traagheid** heeft. Er is een grote resultante voor nodig om de snelheid of de bewegingsrichting merkbaar te beïnvloeden. Een chauffeur die stalen balken vervoert, weet dat zijn lading een grote traagheid heeft. Hij let er daarom goed op dat de balken stevig worden vastgezet. Anders zullen de balken bij een noodstop verder bewegen, terwijl de vrachtauto tot stilstand komt (figuur 25).

## De Tweede wet van Newton Proef 3

Met de opstelling in figuur 26 kun je een wagentje versneld laten bewegen over een luchtkussenbaan. De baan heeft een groot aantal gaatjes waar lucht uit stroomt. Doordat het wagentje 'zweeft' op een laagje lucht, zijn de tegenwerkende krachten te verwaarlozen. De resultante $F$ is daarom gelijk aan de zwaartekracht op de gewichtendrager en het gewichtje.
De massa $m$ van het wagentje en de gewichtjes kun je bepalen met een weegschaal en de versnelling $a$ door de snelheidsverandering te meten met een bewegingssensor.

▼ **figuur 26**
een experiment met een luchtkussenbaan



Uit dit soort proeven blijkt dat er een eenvoudig verband bestaat tussen de resultante, de massa en de versnelling. In formulevorm:

$F = m \cdot a$

Als je de massa $m$ invult in kg en de versnelling $a$ in m/s², vind je de resultante $F$ in N. Deze formule staat ook wel bekend als de Tweede wet van Newton.

De definitie van de newton, de eenheid van kracht, is gebaseerd op de formule $F = m \cdot a$. Volgens die definitie is 1 N gelijk aan de (resulterende) kracht die een massa van 1 kg een versnelling geeft van 1 m/s².

***Voorbeeldopgave 4***
Een auto trekt in 4,0 s met constante versnelling op van 0 km/h naar 54 km/h. De auto heeft een massa van 800 kg.
Bereken hoe groot de resultante is die de auto laat versnellen.

gegevens
$v_b = 0$ m/s
$v_e = 54$ km/h = 15 m/s
$\Delta t = 4{,}0$ s
$m = 800$ kg

gevraagd
$F = ?$

uitwerking
$\Delta v = v_e - v_b = 15$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{15}{4{,}0} = 3{,}75 \text{ m/s}^2$$

$$F = m \cdot a = 800 \times 3{,}75 = 3000 \text{ N} = 3{,}0 \text{ kN}$$

De resultante is dus 3,0 kN. De voortstuwende kracht op de auto is groter. Er zijn immers ook tegenwerkende krachten die overwonnen moeten worden.

## De versnelling berekenen

Een motor kan meestal veel sneller optrekken dan een personenauto. Dat komt doordat de motor een veel kleinere massa heeft. Als de resultante op de beide voertuigen even groot is, krijgt de motor daarom de grootste versnelling. Je kunt dat ook afleiden uit de formule: $F = m \cdot a$.

Als de resultante $F$ even groot is maar de massa $m$ veel kleiner, moet de versnelling $a$ wel veel groter zijn.



▲ figuur 27
Een motor kan veel sneller optrekken dan een auto.

***Voorbeeldopgave 5***
In figuur 27 zie je een auto en een motor die voor een verkeerslicht staan. De massa van de auto is 900 kg, die van de motor 300 kg (inclusief de bestuurders). Als het verkeerslicht op groen springt, trekken de auto en de motor beide op. Op beide voertuigen werkt daarbij een resultante van 1,8 kN.
Bereken de versnelling van beide voertuigen.

| | *auto:* | *motor:* |
|---|---|---|
| gegevens | $F = 1{,}8$ kN<br>$m = 900$ kg | $F = 1{,}8$ kN<br>$m = 300$ kg |
| gevraagd | $a = ?$ | $a = ?$ |
| uitwerking | $a = \frac{F}{m} = \frac{1800}{900} = 2{,}0\ m/s^2$ | $a = \frac{F}{m} = \frac{1800}{300} = 6{,}0\ m/s^2$ |

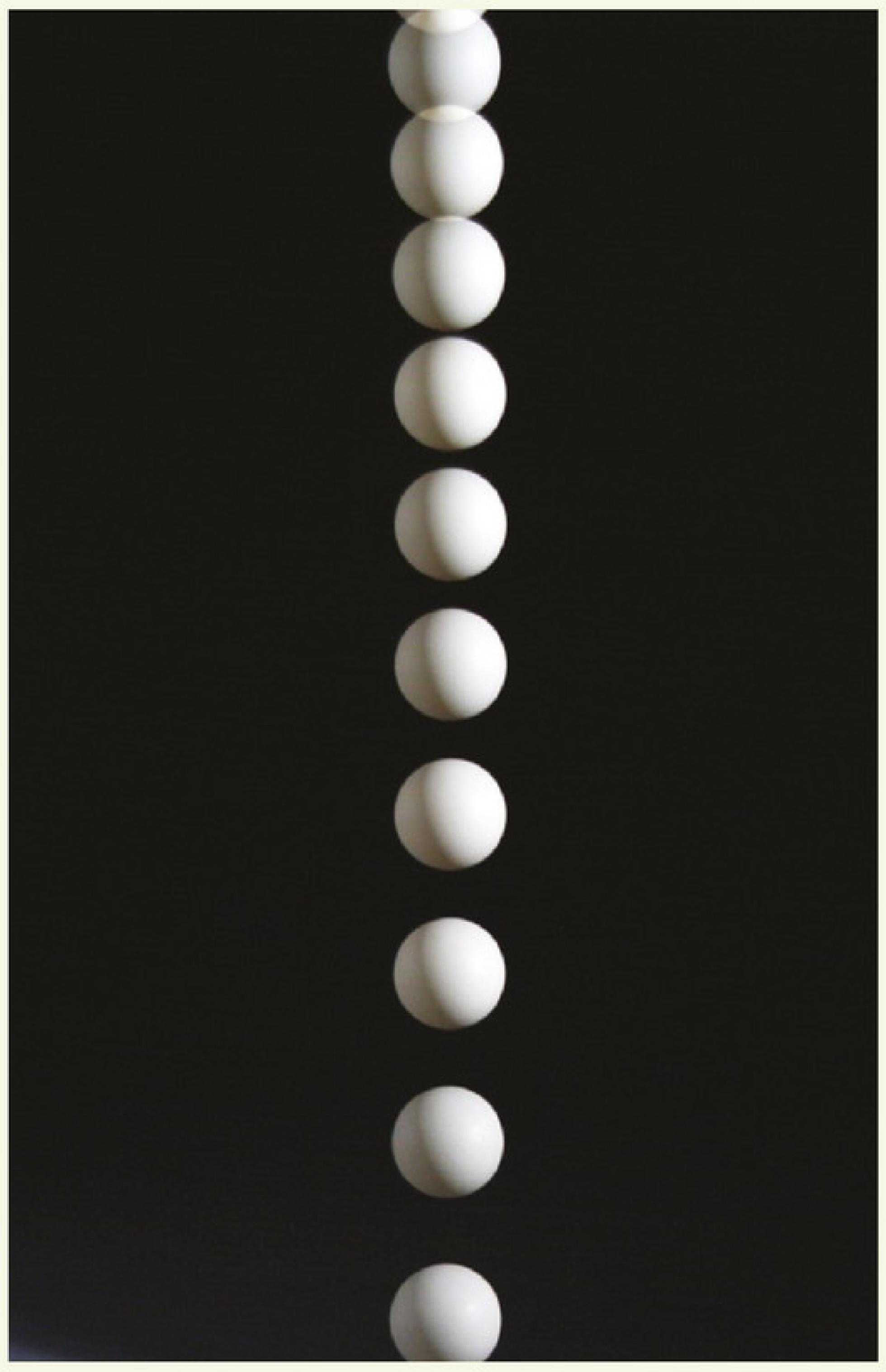
## **Plus** Zwaartekracht en valversnelling

In figuur 28 zie je een stroboscopische foto van een vallende pingpongbal. De bal beweegt onder invloed van de zwaartekracht versneld naar beneden. Als je de luchtweerstand kunt verwaarlozen (ten opzichte van de zwaartekracht), geldt de volgende regel:

Vlak bij het aardoppervlak vallen alle voorwerpen met een valversnelling van 9,8 $m/s^2$.

Het maakt niet uit hoe groot (of klein) de massa van een voorwerp is: als de luchtweerstand verwaarloosbaar klein is, is de valversnelling steeds 9,8 $m/s^2$. Je kunt dat nagaan door valproeven te doen in een luchtledige ruimte. Die proeven leveren altijd dezelfde waarde op voor de valversnelling, of je nu een loden bal neemt of een plukje watten.

In het dagelijks leven kun je de luchtweerstand vaak niet verwaarlozen. Denk bijvoorbeeld aan een pluisje dat door de lucht naar beneden zweeft. Zo'n pluisje beweegt met een constante snelheid, doordat de luchtweerstand even groot is als de zwaartekracht. Hierdoor is de resultante 0 N. Alleen helemaal aan het begin van de beweging heeft het pluisje even versneld bewogen.



◀ figuur 28
Een pingpongbal valt versneld naar beneden.

opgaven

## Leerstof

**23** Beantwoord de volgende vragen.

**a** Welk verband bestaat er tussen de resultante, de massa en de versnelling?

**b** Hoe komt het dat het wagentje van een luchtkussenbaan (bijna) geen tegenwerkende krachten ondervindt?

**c** Hoe luidt de definitie van de newton (N), de moderne eenheid van kracht?

**d** Waardoor kan een motor meestal veel sneller optrekken dan een personenauto?

**24** Een volgeladen vrachtwagen heeft een veel grotere traagheid dan een lege vrachtwagen.
Hoe merkt een vrachtwagenchauffeur dat:

**a** bij het optrekken?

**b** bij het nemen van bochten?

**c** bij het afremmen?

## Toepassing

**25** Formule 1-auto's kunnen bochten nemen met een extreem hoge snelheid. De coureurs trainen hiervoor speciaal hun nekspieren.

**a** Leg uit waarom dat nodig is. Gebruik het woord 'traagheid' in je antwoord.

**b** Een formule 1-auto trekt veel sneller op dan een doorsnee personenauto.
Geef hiervoor twee mogelijke oorzaken.

**26** Een brommer trekt in 4,0 s op van 0 naar 36 km/h. De brommer heeft (inclusief berijder) een massa van 140 kg. Je mag aannemen dat de beweging eenparig versneld is.

**a** Bereken de versnelling.

**b** Bereken hoe groot de resultante is die de brommer laat versnellen.

**27** De Airbus A380-800 is het grootste passagiersvliegtuig ter wereld. De motoren leveren bij de start een stuwkracht van $1{,}2 \cdot 10^6$ N. De massa (inclusief brandstof en lading) is $5{,}6 \cdot 10^5$ kg.

**a** Bereken de versnelling gedurende de eerste seconden van de start (verwaarloos eventuele wrijvingskrachten).

**b** Toon aan dat de snelheid van de Airbus na 3 s gelijk is aan 6,4 m/s (23 km/h).

**28** Vervolg van opgave 27.

**a** Teken het ($v$,$t$)-diagram van de beweging van de Airbus tijdens de eerste drie seconden.

**b** Bepaal de afstand die de Airbus aflegt in de eerste drie seconden.




## De natuurkunde van 's werelds snelste man

De regerend Olympisch kampioen en wereldkampioen op de 100 meter en 200 meter sprint, Usain Bolt, wist tot nu toe zes Olympische gouden medailles te winnen en is al achtvoudig wereldkampioen op diverse sprintafstanden.
De sleutel tot Bolts succes is de horizontale kracht die hij kan ontwikkelen. Hij komt uit de startblokken met een versnelling van bijna 10 m/s², waarbij hij een (horizontale) kracht uitoefent van 817 N.
Bolt blijkt als een van de weinigen deze kracht over de hele 100 meter te behouden. Doordat de luchtwrijving snel toeneemt, neemt z'n versnelling na de start snel af. Zijn versnelling wordt tussen de vierde en vijfde seconde nul en hij legt de rest van de race af met een constante snelheid van 12,2 m/s.

*Naar: http://www.gizmag.com/usain-bolt-fastest-man-physics-analysis/28457/*

▲ **figuur 29**
een internetartikel over de legendarische Usain Bolt

**29** Lees de internettekst in figuur 29.

**a** Maak met behulp van de gegevens in de tekst een schatting van de massa van Usain Bolt. Tip: verwaarloos de tegenwerkende krachten tijdens de start.

**b** Schets met de gegevens in de tekst het ($v,t$)-diagram van een 100 meterrace van Usain Bolt.

**c** Tijdens een wedstrijd over 100 m legt Bolt in de eerste 4 s een afstand van 30 m af. Vanaf de vierde seconde versnelt hij niet meer, en legt hij de rest van de race af met een constante snelheid van 12,2 m/s. Bereken de eindtijd van Bolt in deze race.

***30** In figuur 30 zie je een testrapport van de Nissan Qashqai.

**a** De aanduiding 'gewicht rijklaar' is natuurkundig niet juist. Om welke natuurkundige grootheid gaat het hier dan wel?

**b** In het testrapport staat hoe snel de Qashqai optrekt van 0 naar 100 km/h. Bereken hoe groot de (gemiddelde) resultante op de Qashqai daarbij is.

**c** De voortstuwende kracht op de auto is (veel) groter dan de kracht die je bij b hebt berekend. Geef hiervoor een verklaring.




| maten en gewichten | |
|---|---|
| tankinhoud | 55 L |
| gewicht rijklaar* | 1250 kg |
| aanhanger | 675 kg |
| aanhanger geremd | 1200 kg |
| **prestaties** | |
| versnellingen | 6 |
| acceleratie 0 naar 100 km/h | 11,3 s |
| topsnelheid | 183 km/h |

(*) inclusief bestuurder en volle tank brandstof
*Bron: www.autozine.nl*

▲ **figuur 30**
een testrapport van de Nissan Qashqai

***31** Vervolg van opgave 30.
In figuur 30 staat ook vermeld hoe groot de massa van een 'aanhanger' en een 'aanhanger geremd' maximaal mag zijn.

**a** Leg uit wat bedoeld wordt met een 'aanhanger geremd'.
**b** Verklaar waarom de massa van een 'aanhanger geremd' veel groter mag zijn dan de massa van een 'aanhanger'.
**c** Twee Qashqais, A en B, trekken tegelijk zo snel mogelijk op. Achter Qashqai A hangt een aanhanger van 1200 kg, achter Qashqai B hangt niets. Verder verschillen de auto's niet van elkaar.
Toon aan dat de versnelling van Qashqai B ongeveer 2× zo groot is als de versnelling van Qashqai A.

## Plus Zwaartekracht en valversnelling

***32** Tijdens een maanlanding in juli 1971 deed de Amerikaanse astronaut David Scott een eenvoudig valexperiment. Hij liet een hamer en een veer tegelijk van dezelfde hoogte vallen. Op een video die van dit experiment gemaakt is, zie je dat de twee voorwerpen op hetzelfde moment de maanbodem bereiken.

**a** Hoe komt het dat de veer tegelijk met de hamer de maanbodem bereikte, en niet langzaam naar beneden dwarrelde?
**b** Uit een videometing blijkt dat de veer en de hamer beide na 1,4 s neerkomen met een snelheid van 2,3 m/s.
Bereken met deze gegevens de valversnelling op de maan.
**c** Toon aan dat de twee voorwerpen 1,6 m boven de maanbodem werden losgelaten.

***33** In 1997 ging de Thrust Super Sonic Car (figuur 31) als eerste auto ooit sneller dan het geluid: 1223 km/h. Bij de start haalde het door straalmotoren aangedreven voertuig in 4,0 s een snelheid van 161 km/h. Ga met een berekening na of de auto in die 4,0 s meer versnelde dan een vallende steen.



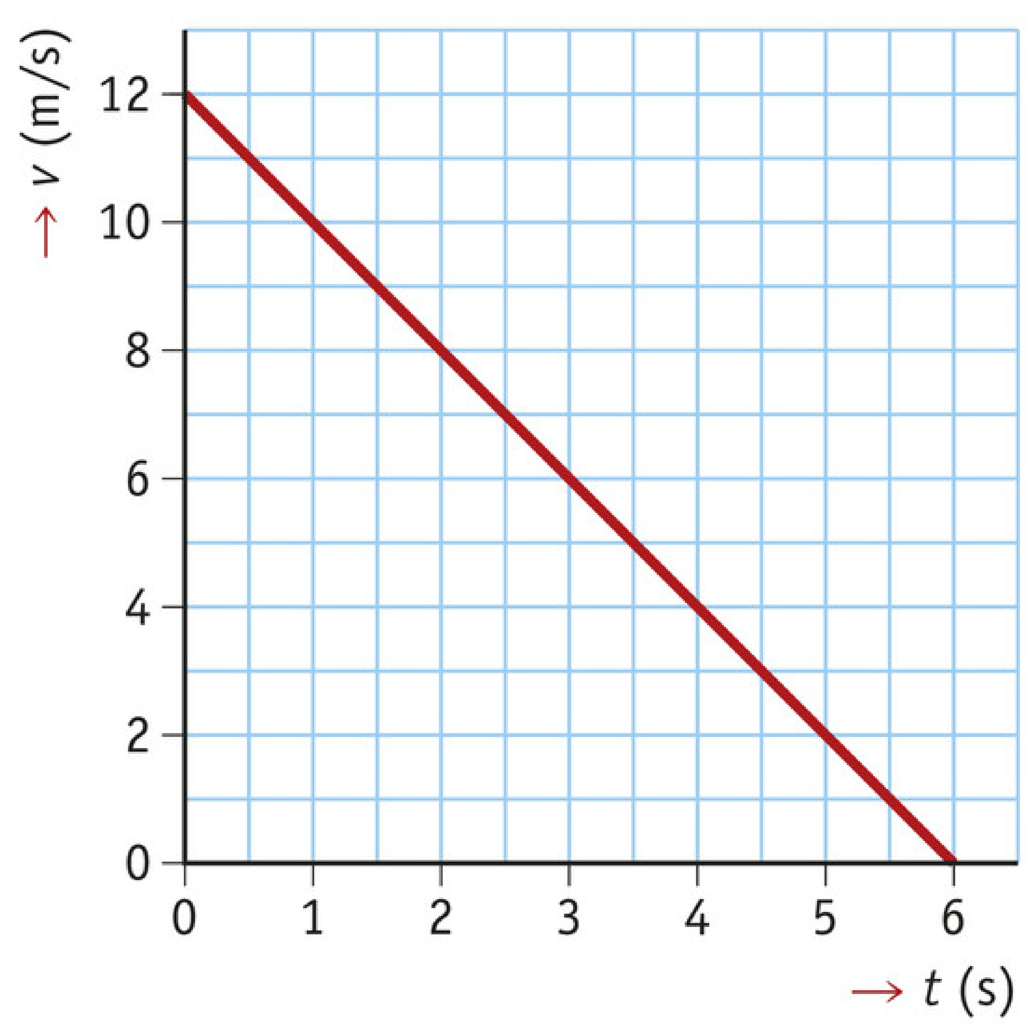
▶ **figuur 31**
De Thrust SSC (= Super Sonic Car) wordt klaargemaakt voor een recordpoging.

# 4 Remmen en botsen

**De overheid heeft allerlei maatregelen genomen om het verkeer veiliger te maken. Zo mogen auto's in de bebouwde kom niet sneller rijden dan 50 km/h. Dat is niet voor niets: de gevolgen van een botsing bij deze snelheid kun je vergelijken met de val van een tien meter hoog gebouw!**

## De eenparig vertraagde beweging

In figuur 32 is het (*v*,*t*)-diagram getekend van een auto die afremt voor een stoplicht. Je ziet dat de snelheid gelijkmatig afneemt tot de auto stilstaat: de beweging is **eenparig vertraagd**.




▲ **figuur 32**
het (*v*,*t*)-diagram van een remmende auto

In het (*v*,*t*)-diagram kun je aflezen dat de beginsnelheid van de auto 12 m/s is. Na één seconde is de snelheid 10 m/s, na twee seconden 8 m/s, na drie seconden 6 m/s, enzovoort. De snelheid neemt dus elke seconde af met 2 m/s. De snelheidsafname per seconde noem je de **vertraging**. Je zegt nu dat de vertraging gelijk is aan 2 m/s$^2$. Je schrijft echter: $a = -2$ m/s$^2$.

Zoals je ziet, gebruik je voor vertraging hetzelfde symbool als voor versnelling: de letter *a*. Het enige verschil is dat een versnelling altijd een positief getal is, en een vertraging een negatief getal.

***Voorbeeldopgave 6***

Een auto remt af voor een bocht. De auto beweegt 5,0 s lang eenparig vertraagd. In die tijd neemt de snelheid af van 81 km/h naar 27 km/h. Bereken de vertraging.

gegevens $v_b = 81$ km/h $= 22{,}5$ m/s
$v_e = 27$ km/h $= 7{,}5$ m/s
$\Delta t = 5{,}0$ s

gevraagd $a = ?$

uitwerking $\Delta v = v_e - v_b = 7{,}5 - 22{,}5 = -15$ m/s

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-15}{5{,}0} = -3{,}0 \text{ m/s}^2$$

## De remkracht berekenen

Met de formule $F = m \cdot a$ kun je de resultante op een remmend voertuig berekenen. De letter $a$ staat in dit geval voor de remvertraging (de snelheidsafname per seconde). De letter $F$ staat zoals altijd voor de resultante. In dit geval is de resultante de totale remkracht die op het voertuig wordt uitgeoefend.

***Voorbeeldopgave 7***

Een Opel Astra heeft een massa van 1300 kg. De remmen moeten voldoende remkracht kunnen leveren voor een remvertraging van minstens 5,2 m/s$^2$.

Bereken hoe groot de remkracht minstens moet zijn.

gegevens $m = 1300$ kg
$a = -5{,}2$ m/s$^2$

gevraagd $F = ?$

uitwerking $F = m \cdot a = 1300 \times -5{,}2 = -6760 \text{ N} \approx -6{,}8 \text{ kN}$

Je zegt dat de remkracht (na afronding) gelijk is aan 6,8 kN, maar je schrijft $F \approx -6{,}8$ kN. Het minteken geeft aan dat de remkracht tegen de bewegingsrichting in werkt.



▲ **figuur 33**
In deze situatie was de remkracht te klein.

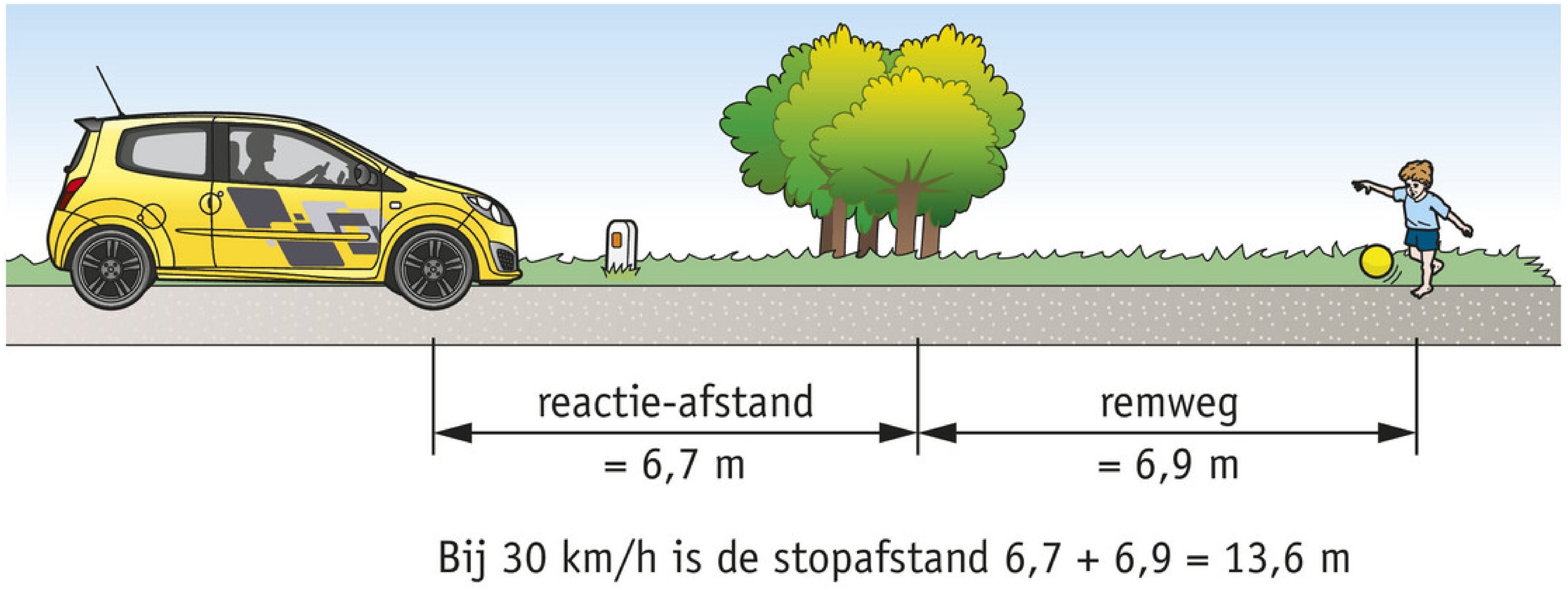
## De stopafstand bepalen

Als automobilisten zien dat ze moeten stoppen, remt de auto niet meteen. Het duurt even voordat het rempedaal is ingetrapt en de remmen aanslaan. De tijd die daarvoor nodig is, noem je de **reactietijd**. Tijdens de reactietijd beweegt de auto verder zonder af te remmen. De afstand die de auto tijdens deze eenparige beweging aflegt, wordt de **reactie-afstand** genoemd.

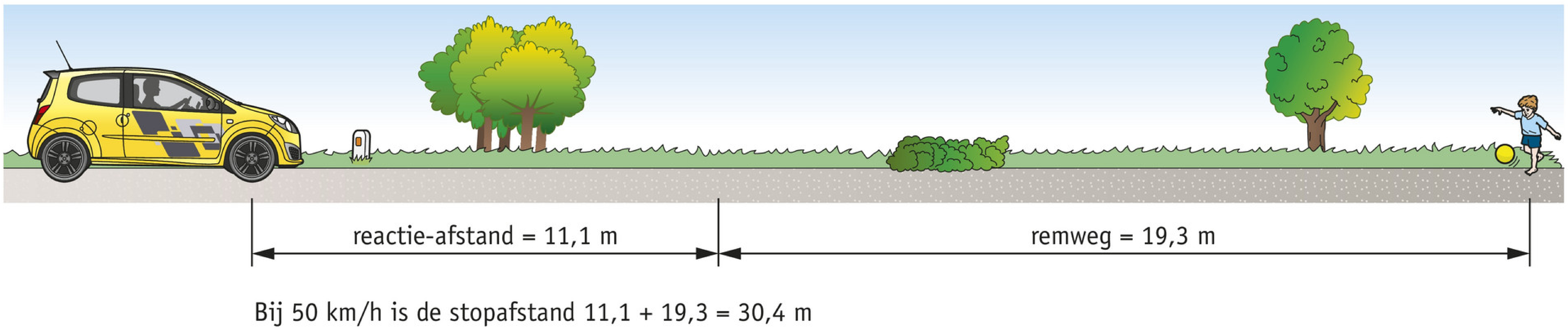
Nadat de remmen zijn ingetrapt, beweegt de auto eenparig vertraagd verder, tot hij stilstaat. De afstand die de auto tijdens deze eenparig vertraagde beweging aflegt, noem je de **remweg**. De totale stopafstand bestaat dus uit twee delen: de reactie-afstand en de remweg:

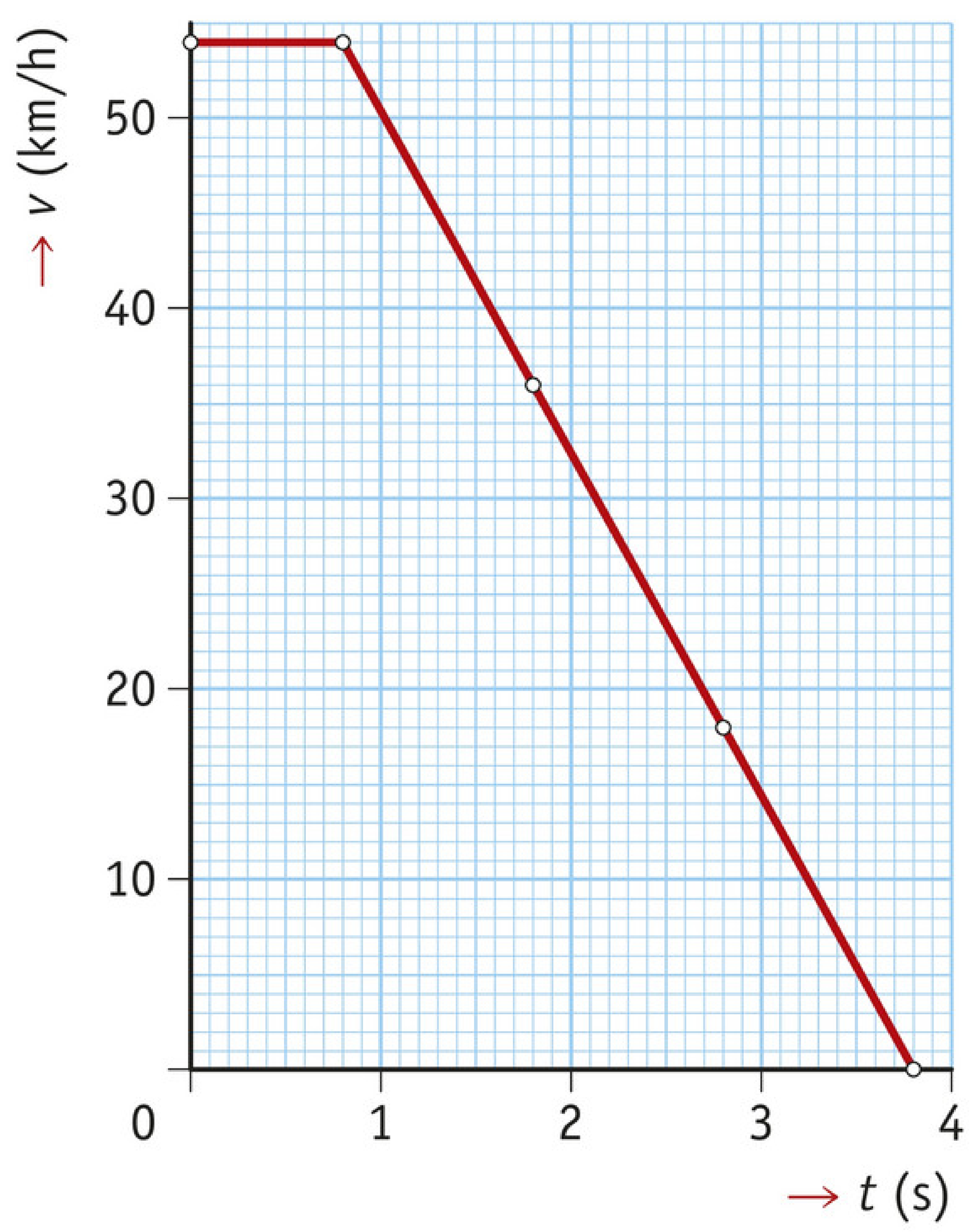
stopafstand = reactie-afstand + remweg

Hoe sneller iemand rijdt, des te groter zijn de reactie-afstand en de remweg, en dus ook de stopafstand (figuur 34).




◀ **figuur 34**
de stopafstand bij 0,8 s reactietijd en een vertraging van 5 $m/s^2$




▲ **figuur 35**
Stoppen voor een zebrapad: eerst reageren, dan remmen.

In figuur 35 zie je het ($v,t$)-diagram van een auto die afremt voor een zebrapad. Zoals je uit het diagram kunt aflezen, is de reactietijd 0,8 s. Daarna vertraagt de auto 3,0 s lang, tot hij tot stilstaat. Je kunt de stopafstand bepalen door het oppervlak onder het ($v,t$)-diagram te berekenen. Als je dat doet in figuur 35 (nadat je de snelheid hebt omgerekend van km/h naar m/s), kom je uit op een stopafstand van 34,5 m. Ga zelf na dat dit zo is.

## Botsen Proef 4

Tijdens een botsing komen de inzittenden van een auto opeens tot stilstand. Dat betekent dat ze een sterke vertraging ondergaan. Hoe groot die vertraging is, hangt af van twee factoren:
– de snelheid van hun auto op het moment van de botsing;
– de tijd waarin hun lichaam tot stilstand wordt gebracht.

Hoe groter de vertraging $a$, des te groter is de afremmende kracht $F$ die op hun lichaam wordt uitgeoefend. Dat volgt rechtstreeks uit de formule $F = m \cdot a$. Om het risico op verwondingen te beperken, moet je de vertraging dus zo klein mogelijk zien te houden. Dat kun je bereiken door de rijsnelheid kleiner te maken en door de botsingstijd te verlengen.

***Voorbeeldopgave 8***
Bij een botsproef met een auto komt een testpop (80 kg) in 0,06 s tot stilstand. De snelheid van de auto is 9,0 m/s. De pop is vastgemaakt met een gordel die niet uitrekt.
Bereken de gemiddelde remkracht op de pop.

gegevens
$m = 80$ kg
$v_b = 9,0$ m/s
$v_e = 0$ m/s
$\Delta t = 0,06$ s

gevraagd
$F = ?$

uitwerking
$\Delta v = v_e - v_b = 0 - 9,0 = -9,0$ m/s

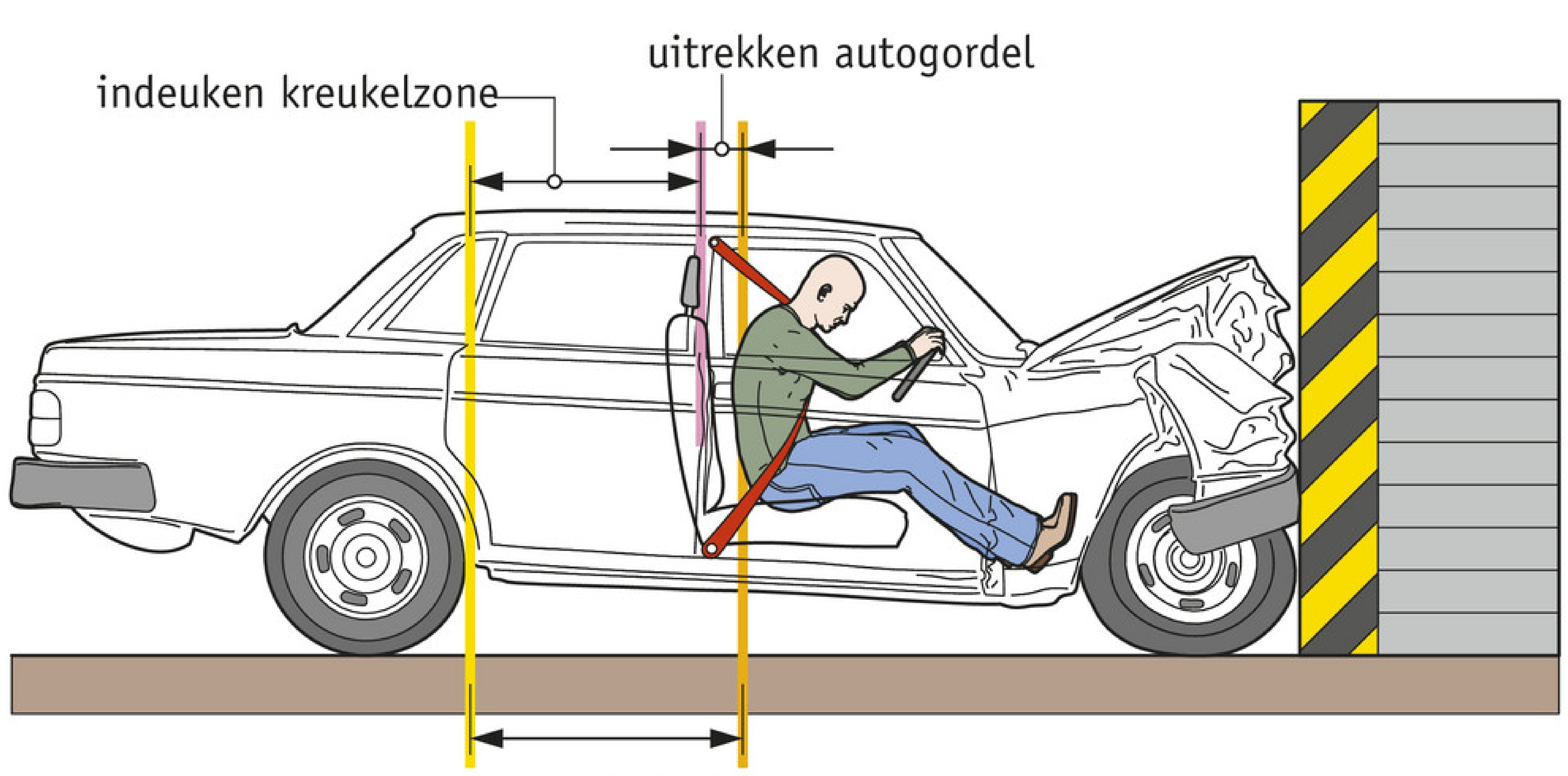
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-9,0}{0,06} = -150 \text{ m/s}^2$$

$$F = m \cdot a = 80 \times -150 = -12\,000 \text{ N} = -12 \text{ kN}$$

## Veilig autorijden

Het kiezen van een verantwoorde rijsnelheid is de verantwoordelijkheid van de bestuurder. Die moet de risico's inschatten en zijn rijsnelheid daarop aanpassen. Als er een verhoogde kans op een botsing bestaat, bijvoorbeeld bij extreem druk verkeer of een glad wegdek, hoor je snelheid terug te nemen. Dan kun je andere verkeersdeelnemers beter ontwijken en als er toch een botsing plaatsvindt, zijn de vertragingen en dus de krachten kleiner.

Het verlengen van de botsingstijd is een opgave voor de auto-ontwerpers. In de loop van de tijd hebben die allerlei manieren bedacht om de botsingstijd zo lang mogelijk te maken. De voor- en achterkant van een auto worden bijvoorbeeld zo gemaakt dat ze bij een botsing gemakkelijk in elkaar gedrukt worden. Door deze **kreukelzones** wordt de 'botsingstijd' van de inzittenden langer en zijn de afremmende krachten minder groot (figuur 36).




▶ **figuur 36**
Een botsproef. Je ziet hoe de remweg – en daardoor de remtijd – voor de inzittenden zo lang mogelijk wordt gemaakt.

Veiligheidsgordels en airbags zorgen ervoor dat de inzittenden samen met de auto worden afgeremd (met een relatief lange botsingstijd) en niet opeens tegen de voorruit slaan (met een ultrakorte botsingstijd). Bovendien verdelen gordels en airbags de afremmende krachten over een groot oppervlak. Ook hierdoor neemt de kans op verwondingen af.

## Plus G-krachten

Versnellingen worden vaak vergeleken met de valversnelling op aarde (9,8 m/s$^2$). De valversnelling wordt daarbij gelijkgesteld aan 1 g. Een gewone personenauto heeft bijvoorbeeld een maximale versnelling van 0,3 g (ofwel $0,3 \times 9,8 \approx 3$ m/s$^2$). Astronauten ondervinden een versnelling van 3 g tijdens de lancering. Bij een noodstop van een formule 1-auto kan de vertraging oplopen tot 6 g (figuur 37). Ook in achtbanen kunnen dergelijke versnellingen en vertragingen worden bereikt.

Grote versnellingen en vertragingen kunnen gevaarlijk zijn doordat er grote krachten bij optreden. De krachten die zo'n versnelling of vertraging veroorzaken, worden ook wel G-krachten genoemd. Het effect op je lichaam hangt niet alleen af van de grootte van de versnelling of vertraging, maar ook van de richting.




Bij opwaartse versnellingen zakt het bloed in je benen, waardoor je gezichtsvermogen afneemt. Vanaf 5 à 6 g treedt er bewusteloosheid op. Neerwaartse versnellingen zijn nog schadelijker. Daarbij kan 2 à 3 g al gezondheidsschade veroorzaken, vooral aan de ogen. Voor- en achterwaartse versnellingen zijn lang zo gevaarlijk niet. Mensen kunnen dan korte tijd tot wel 50 g verdragen, bijvoorbeeld bij botsingen in het verkeer.

◀ **figuur 37**
Een autocoureur staat bloot aan grote G-krachten.

**opgaven** **Leerstof**

**34** Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Hoe noem je een beweging waarvan de snelheid gelijkmatig afneemt?
- **b** Wat wordt bedoeld met de uitspraak: 'de vertraging van de auto is 5 m/s$^2$'?
- **c** Welke twee afstanden moet je optellen om de totale stopafstand te vinden?
- **d** Van welke factoren hangt de vertraging af die het lichaam bij een botsing ondergaat?

**35** Leg uit:

**a** wat er tijdens een botsing gebeurt met de kreukelzone van een auto.
**b** waarom een kreukelzone het risico voor de inzittenden kleiner maakt.
**c** hoe het komt dat een gordel de botskracht op het lichaam vermindert.

## Toepassing

**36** Hieronder worden drie eenparig vertraagde bewegingen beschreven. Bereken voor elke beweging hoe groot de vertraging was.

**a** Catlyn fietst met een snelheid van 5 m/s. Ze houdt op met trappen. Na 20 s is haar snelheid afgenomen tot 2,3 m/s.
**b** Een auto die 72 km/h reed, remt voor een stoplicht. Na 7 s staat de auto stil.
**c** Een auto botst met een snelheid van 50 km/h tegen een boom. De bestuurder komt na 0,3 s tot stilstand.

**37** Lees het krantenartikel in figuur 38.

**a** Leg uit of de leerlingen in de bus naar voren of naar achteren vielen.
**b** Aan welk veiligheidsvoorschrift voldeden de leerlingen niet?
**c** De buschauffeur (massa 95 kg) remde met een vertraging van 6 m/s$^2$. Hij had een veiligheidsgordel om. Bereken hoe groot de kracht was die de gordel op de chauffeur uitoefende.

### Buschauffeur straft door te remmen: twee kinderen gewond

Enkhuizen – Een jongen en een meisje zijn gewond geraakt tijdens een busrit. Dit kwam, omdat de buschauffeur op de snelweg krachtig remde om de drukke leerlingen tot de orde te roepen. De twee slachtoffers kwamen ten val.
De chauffeur ergerde zich aan de leerlingen die over de banken liepen. Door krachtig remmen wilde hij ze laten schrikken. De jongen brak een arm en het meisje moest met nekklachten naar het ziekenhuis.

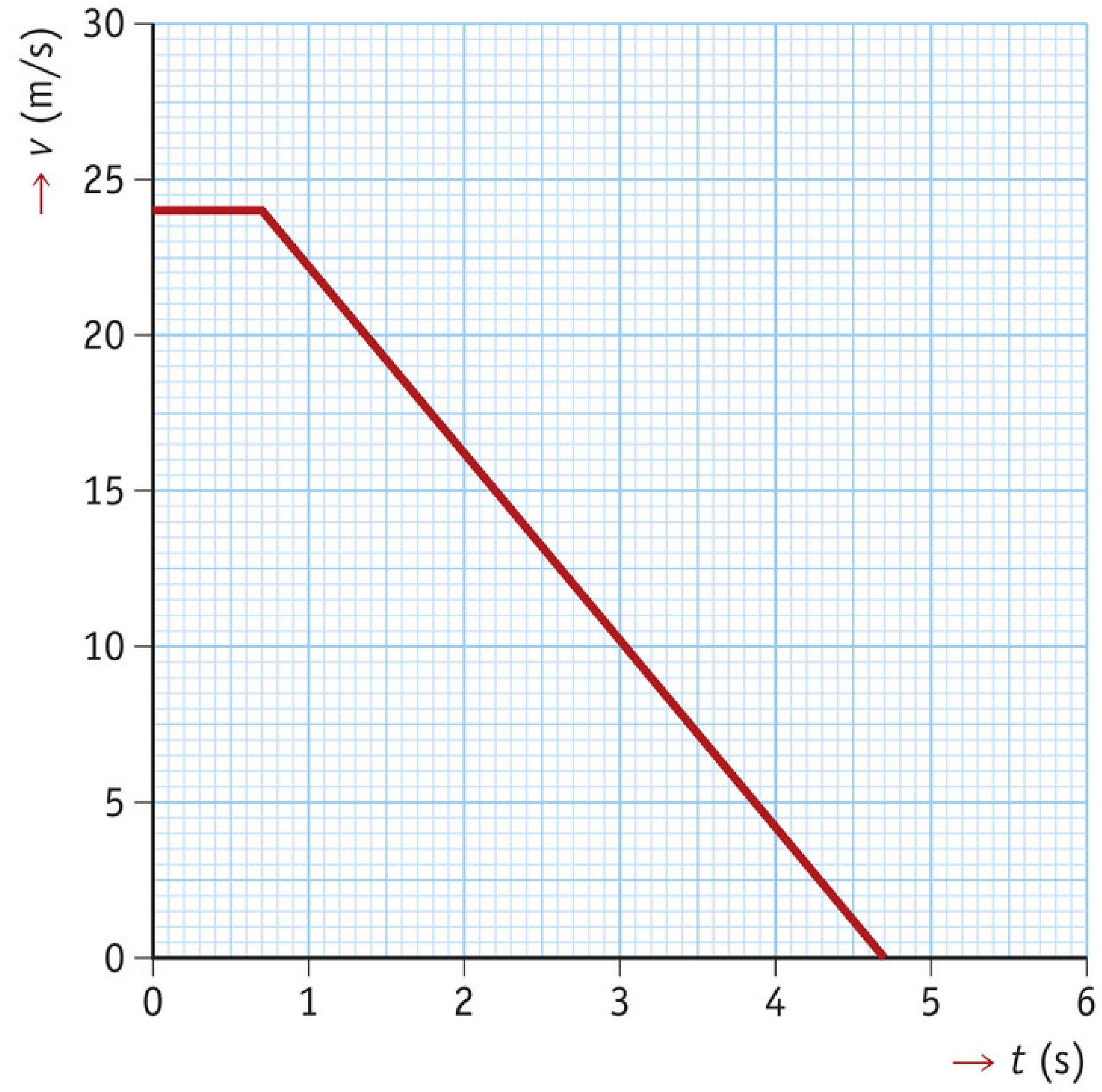
▶ **figuur 38**
de gevolgen van plotseling krachtig remmen

**38** Bij deze opgave heb je werkblad 5-1 nodig.
Bart rijdt in zijn auto door het drukke stadsverkeer. Op het werkblad kun je zien hoe groot de snelheid van Barts auto is gedurende 12 s van die rit.

**a** Teken in de grafiek op het werkblad het ($v$,$t$)-diagram van Barts beweging.
**b** Waaraan kun je zien dat de beweging tussen $t$ = 3 s en $t$ = 8 s niet eenparig vertraagd is?
**c** Hoe groot is de gemiddelde vertraging tussen $t$ = 3 s en $t$ = 8 s?
**d** Hoe beweegt de auto verder na $t$ = 8 s?

**39** Een automobilist ziet een eindje voor zich een haas de weg op rennen. Hij probeert voor het dier te stoppen. In figuur 39 zie je het $(v,t)$-diagram van zijn auto, vanaf het moment ($t$ = 0 s) dat hij de haas waarneemt.

**a** Hoe groot is de reactietijd? Lees af uit de figuur.
**b** Bepaal de vertraging waarmee de auto afremt.
**c** De massa van de auto met bestuurder is 800 kg.
Bereken de remkracht die op de auto wordt uitgeoefend.
**d** Bepaal de stopafstand met behulp van de figuur.




▶ **figuur 39**
Een automobilist stopt voor een haas.

**40** De airbags in een auto worden razendsnel opgeblazen, als de auto een vertraging van meer dan 50 m/s² ondervindt. Als het lichaam van een inzittende als gevolg van de botsing naar voren schiet, wordt het door de airbag opgevangen (figuur 40). De airbag geeft daarbij mee, net als een ballon waar je met een vinger in duwt.

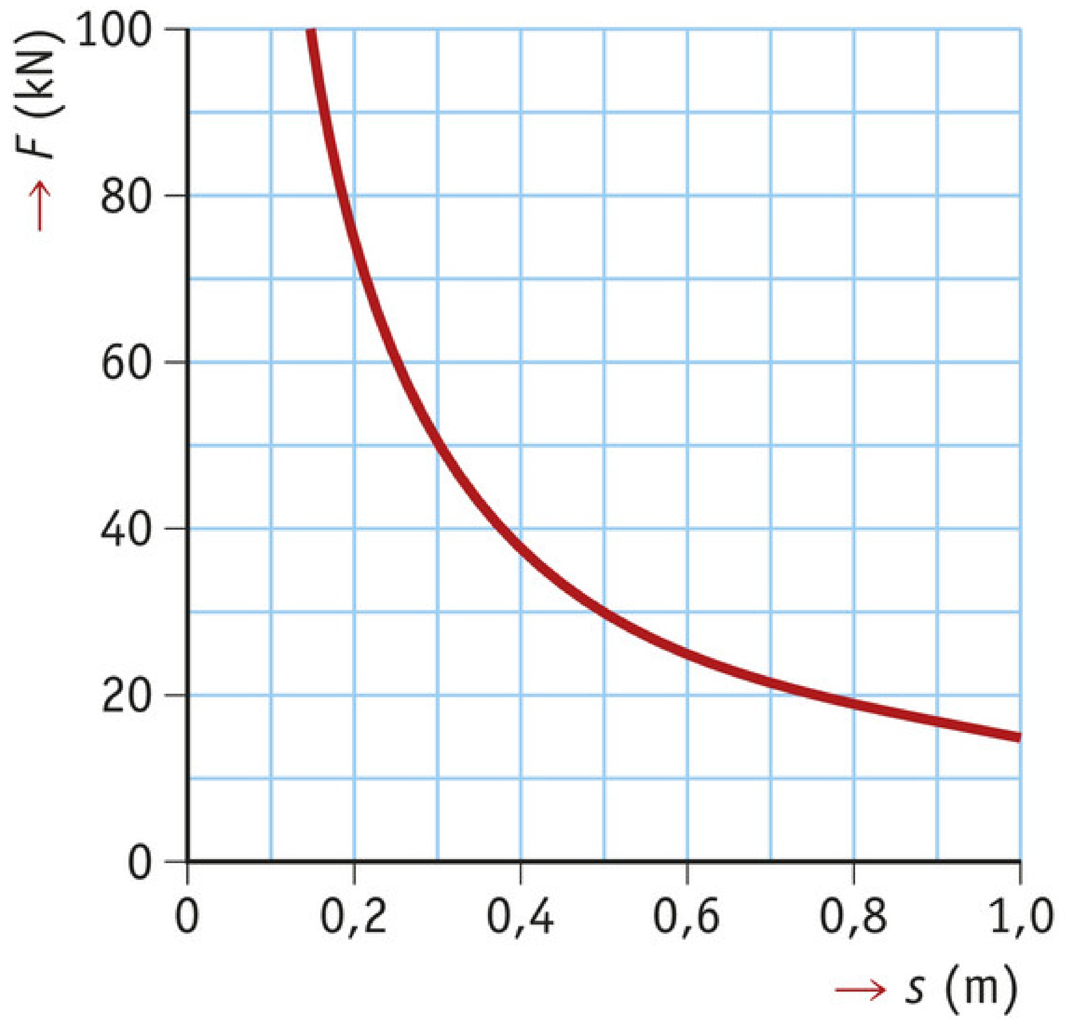
**a** De airbag verkleint de kans dat de inzittenden bij een ongeluk gewond raken.
Geef hiervoor een natuurkundige verklaring.
**b** Bij een test botst een auto met een snelheid van 20 km/h tegen een betonnen wand. Hierbij komt de auto binnen 0,10 s tot stilstand. De kreukelzone van de auto is zo gemaakt dat de auto bij de botsing eenparig vertraagt.
Ga met een berekening na of de airbag bij deze botsing zal worden opgeblazen.
**c** Toon aan dat de kreukelzone van de auto tijdens de botsproef 28 cm is ingedrukt. Tip: schets eerst het $(v,t)$-diagram van deze beweging.



◀ **figuur 40**
Tijdens een botsproef wordt een airbag getest.



▲ **figuur 41**
rijden met de Segway




▲ **figuur 42**
het verband tussen de remweg bij een botsing en de kracht op de testpop

***41** De Segway is een elektrisch aangedreven tweewieler (figuur 41). Uit tests blijkt dat de stopafstand bij een snelheid van 20 km/h tussen 4,6 en 6,5 m ligt.

**a** Geef een oorzaak (zelf bedenken) waardoor de stopafstanden zo verschillend kunnen zijn.

**b** De remvertraging van een Segway is minimaal 4,0 m/s$^2$. Een bestuurder maakt een noodstop bij een snelheid van 20 km/h, de maximumsnelheid van een Segway.
Bereken de maximale remtijd.

**c** In de handleiding bij de Segway staat het advies een helm te dragen. Zo'n helm heeft een harde buitenkant en een binnenkant van zacht, veerkrachtig materiaal.
Leg met een natuurkundige redenering uit waarom je met zo'n helm minder kans loopt op ernstig letsel.

***42** Tijdens een botsproef rijdt een testauto met een snelheid van 72 km/h tegen een betonnen muur. In de auto zit een testpop van 75 kg die net als een gewone inzittende een veiligheidsgordel draagt. In figuur 42 zie je hoe de (gemiddelde) kracht die de pop afremt, afhangt van de afstand die de pop tijdens de botsing aflegt.

**a** Tijdens de botsing legt de pop een afstand af van 0,60 m.
Bepaal de (gemiddelde) remkracht op de pop.

**b** Bereken de (gemiddelde) remvertraging.

**c** Dat de pop tijdens de botsing een afstand van 0,60 m aflegt, komt deels door de kreukelzone (50 cm) en deels door het uitrekken van de veiligheidsgordel (10 cm).
Bepaal hoe groot de kracht op de pop zou zijn, als de veiligheidsgordel niet uit zou rekken.

## Plus G-krachten

**43** Bij neerwaartse versnellingen kan 2 à 3 g al gezondheidsschade veroorzaken.

**a** Hoe groot is een versnelling van 2 à 3 g, uitgedrukt in m/s$^2$?

**b** Hoe komt het dat mensen neerwaartse versnellingen slechter kunnen verdragen dan opwaartse versnellingen? Tip: bedenk wat er dan met je bloed gebeurt.

**c** Straaljagerpiloten dragen een drukpak dat de bloedvaten naar de benen dichtknijpt bij grote versnellingen.
Wat kun je zeggen over de richting van die versnellingen? Licht je antwoord toe.

**44** In een attractie in een pretpark ondergaan de inzittenden tijdens de start een versnelling van 3 g.
Bereken hoelang het duurt voordat hun snelheid is toegenomen tot 110 km/h.

# Practicum

## Proef 1 De versnelling bepalen 30 min

### Inleiding
Het wagentje van een luchtkussenbaan zweeft vlak boven de baan op een dun laagje lucht. Daardoor is er (bijna) geen wrijvingskracht. Als je de baan een beetje schuin zet, beweegt het wagentje met een constante versnelling naar beneden.

### Doel
Bij deze proef ga je de versnelling van het wagentje op een luchtkussenbaan bepalen.

### Nodig
- luchtkussenbaan
- wagentje
- stopwatch
- meetlat

### Uitvoeren en uitwerken
- Bouw de opstelling van figuur 43. Markeer het startpunt en het eindpunt van de beweging.
- Meet de afstand tussen het startpunt en het eindpunt.

**1** Neem tabel 2 over in je schrift. Noteer de gemeten afstand op de juiste plaats in de tabel.

▼ **tabel 2** de resultaten van proef 1

| afstand (m) | gemiddelde tijd (s) | gemiddelde snelheid (m/s) | eindsnelheid (m/s) | versnelling (m/s²) |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| enzovoort | | | | |

- Zet het wagentje in de startpositie bij het beginpunt.
- Laat het karretje los en start tegelijkertijd de tijdmeting.
- Stop de tijdmeting als het karretje voorbij de eindmarkering glijdt.
- Voer deze meting vier keer achter elkaar uit.

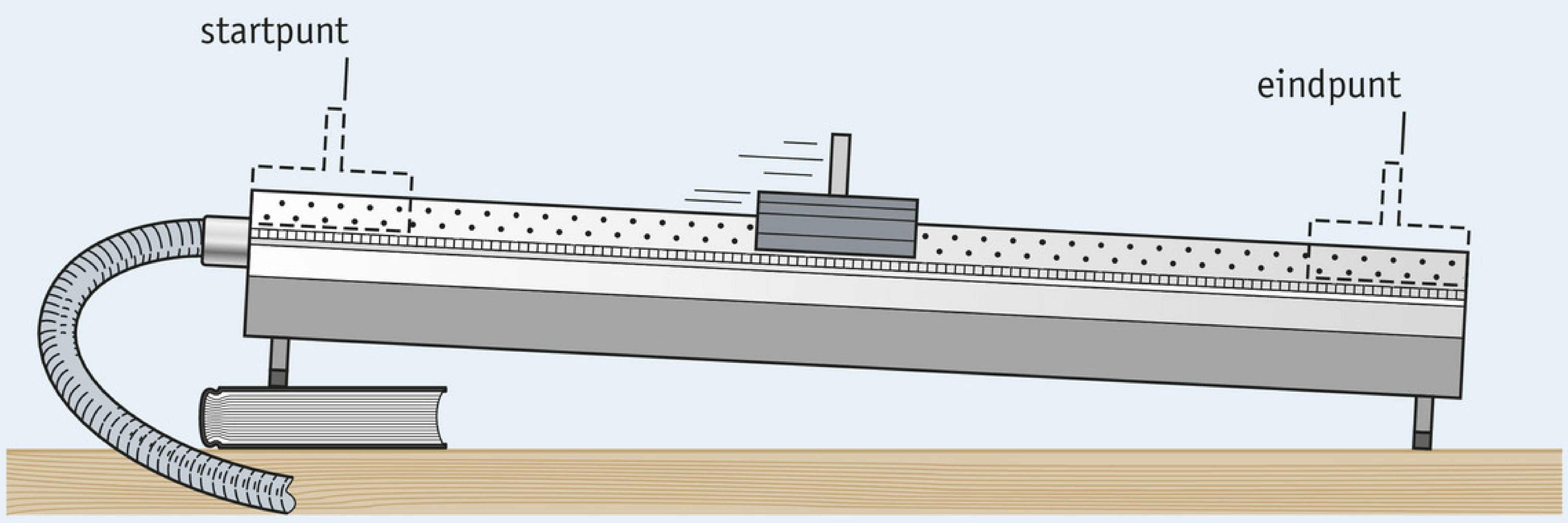
**2** Bereken de gemiddelde tijd. Noteer deze in de tabel.

**3** Bereken de gemiddelde snelheid ($v_{gem}$) van het wagentje. Noteer deze in de tabel.

**4** De eindsnelheid van het wagentje is 2× zo groot als de gemiddelde snelheid.
Bereken de eindsnelheid ($v_e$) van het wagentje. Noteer de waarde in de tabel.

**5** Bereken nu de versnelling van het wagentje. Noteer de uitkomst in de tabel.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.




▶ **figuur 43**
de opstelling van proef 1

## Proef 2 Luchtwrijving en snelheid 45 min

### Inleiding
Net als een fietser heeft ook een vallend voorwerp last van luchtwrijving. De luchtwrijving hangt af van verschillende factoren. Een van die factoren is de snelheid van het voorwerp.

### Doel
Bij deze proef ga je onderzoeken hoe de luchtwrijving afhangt van de snelheid van een voorwerp.

### Nodig
- grote ballonnen
- paperclips
- stopwatch
- meetlint
- nauwkeurige weegschaal
- plakband

### Uitvoeren en uitwerken
Je voert deze proef uit met z'n tweeën. Leerling 1 laat de ballon van (grote) hoogte los, leerling 2 neemt de tijd op. Wissel tijdens de proef regelmatig van rol. Voer de proef eventueel uit in de aula of trappenhuis als de hoogte van je natuurkundelokaal te klein is.

– Maak op de muur met plakband een markering (minimaal twee meter boven de grond). Dit is de hoogte waar de tijdmeting wordt gestart.
– Meet de afstand tussen de markering en de grond (de valafstand).

**1** Noteer deze afstand in je schrift.

– Laat de ballon een flink stuk boven de markering los (de ballon moet tussen het merkteken en de grond met constante snelheid bewegen).
– Meet de valtijd.
– Herhaal deze meting drie keer.

**2** Neem tabel 3 over in je schrift. Noteer de gemiddelde valtijd op de juiste plaats in de tabel.

– Maak achtereenvolgens een, twee, drie, enzovoort, paperclips aan de ballon vast.
– Bepaal steeds de bijbehorende (gemiddelde) valtijd.

**3** Noteer de meetresultaten op de juiste plaats in de tabel.
**4** Bereken bij elke valtijd in de tabel de bijbehorende valsnelheid. Noteer de resultaten op de juiste plaats in de tabel.

– Meet de massa van de ballon en van een paperclip.

**5** Bereken bij elke valtijd de bijbehorende zwaartekracht op de (verzwaarde) ballon in mN. Noteer de resultaten op de juiste plaats in de tabel.
**6** De wrijvingskracht op de ballon mag je gelijkstellen aan de zwaartekracht (de vierde kolom in de tabel).
Leg uit waarom dat zo is.
**7** Teken een grafiek waarin je de wrijvingskracht op de ballon uitzet tegen de snelheid.
Welke conclusie kun je trekken?

– Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

▼ **tabel 3** de resultaten van proef 2

| aantal paperclips | valtijd (s) | valsnelheid (m/s) | zwaartekracht (mN) |
|---|---|---|---|
| 0 | | | |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| enzovoort | | | |

## Proef 3 Versnelling en kracht 30 min

### Inleiding
Het wagentje van een luchtkussenbaan zweeft op een kussen van lucht. Daardoor is de wrijving verwaarloosbaar klein. Je hoeft geen rekening te houden met wrijvingskrachten die de beweging tegenwerken: de resultante is even groot als de voortstuwende kracht.

### Doel
Je gaat het verband onderzoeken tussen de resultante op het wagentje en de versnelling.

### Nodig
- luchtkussenbaan
- wagentje
- gewichtendrager
- gewichtjes
- katrol
- touw (2,5 m)
- stopwatch / lichtpoort met elektronische timer

### Uitvoeren en uitwerken
– Bouw de opstelling van figuur 44.

*Meting 1*

– Je docent zal je vertellen hoeveel gewichtjes je op de gewichtendrager en op het wagentje moet leggen.

**1** Neem tabel 4 over in je schrift. Noteer de massa van de gewichtendrager op de juiste plaats in de tabel.

– Zet het wagentje op 2,0 m van het eindpunt. Dit is de startpositie.
– Meet de tijd die het wagentje nodig heeft om het einde van de luchtkussenbaan te bereiken.
– Herhaal deze meting twee keer.

**2** Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze op de juiste plaats in de tabel (bij meting 1).

*Meting 2*

– Breng één gewichtje van het wagentje naar de gewichtendrager. De (totale) massa verandert niet, maar de voortstuwende kracht wel.

**3** Noteer de massa van de gewichtendrager op de juiste plaats in de tabel.

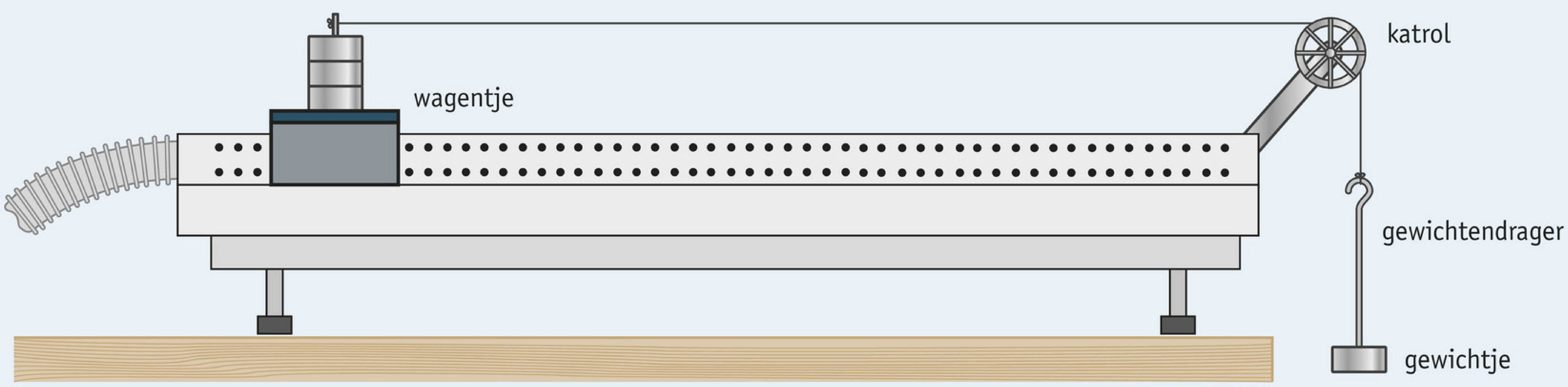
– Meet de tijd die het wagentje nodig heeft om van de startpositie naar het einde van de luchtkussenbaan te bewegen.
– Herhaal deze meting twee keer.

**4** Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze op de juiste plaats in de tabel (bij meting 2).

*Meting 3*

– Breng nog een gewichtje van het wagentje naar de gewichtendrager.

▼ **figuur 44**
de opstelling van proef 3




▼ **tabel 4** de resultaten van proef 3

| meting | massa drager (g) | kracht (N) | afstand (m) | gemiddelde tijd (s) | gemiddelde snelheid (m/s) | eindsnelheid (m/s) | versnelling (m/s²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | 2,0 | | | | |
| 2 | | | 2,0 | | | | |
| 3 | | | 2,0 | | | | |

**5** Noteer de massa van de gewichtendrager op de juiste plaats in de tabel.

- Meet weer de tijd die het wagentje nodig heeft om van de startpositie naar het einde van de luchtkussenbaan te bewegen.
- Herhaal deze meting twee keer.

**6** Bepaal de gemiddelde tijd. Noteer deze op de juiste plaats in de tabel (bij meting 3).

*Uitwerken*

**7** Bereken de voortstuwende kracht bij elke meting met $F_z = m \cdot g$. Noteer de uitkomsten in de derde kolom van de tabel.

**8** Bereken de gemiddelde snelheid bij elke meting. Noteer de uitkomsten in de zesde kolom van de tabel.

**9** De eindsnelheid is 2× zo groot als de gemiddelde snelheid.
Bereken de eindsnelheid voor elke meting. Noteer de uitkomsten in de zevende kolom van de tabel.

**10** Bereken de versnelling bij elke meting. Noteer de uitkomsten in de achtste kolom van de tabel.

**11** Bekijk je resultaten. Wat kun je zeggen over het verband tussen de resultante en de versnelling? Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

## Proef 4 Vertraging bij botsproeven 20 min

### Inleiding

In autofabrieken worden botsproeven gedaan waarbij een auto met een grote snelheid tegen een betonnen muur wordt gereden. Van zulke proefbotsingen worden video's gemaakt. Daarop kun je zien wat er bij de botsing precies gebeurt.

### Doel

Bij dit onderzoek ga je met de computer meten aan een video van zo'n botsproef. De onderzoeksvraag is: *Hoe groot is de gemiddelde vertraging tijdens de botsing?*

### Nodig

- video van een botsproef
- videosoftware
- computer

### Uitvoeren en uitwerken

*Meten*

Voor het uitvoeren van dit onderzoek heb je videosoftware nodig, die een filmpje beeld voor beeld kan afspelen (een goed programma hiervoor is VideoLAN; door de toets 'E' herhaaldelijk in te drukken, speel je het filmpje beeld voor beeld af).

- Zoek op internet een filmpje van een botsproef met een bekende beginsnelheid.
- Download het filmpje.
- Bepaal het aantal beeldjes per seconde (framerate) van het filmpje. Raadpleeg eventueel de handleiding van de videosoftware, of je docent.

**1** Noteer de beginsnelheid van de auto en de framerate.

- Speel het filmpje beeld voor beeld af. Tel het aantal beeldjes van de eigenlijke botsing: vanaf het eerste contact met het obstakel tot het moment waarop de auto tot stilstand komt.

**2** Noteer het aantal beelden waarin de botsing is vastgelegd.

*Uitwerken*

**3** Bereken met de antwoorden op vraag 1 en 2 de botsingstijd van de auto.

**4** Bereken de (gemiddelde) vertraging van de auto tijdens de botsing.

**5** Hoe groot zou de resultante op een bestuurder van 80 kg zijn, als deze met dezelfde vertraging tot stilstand zou komen?

**6** Deze methode om de vertraging te bepalen bij botsproeven is vrij onnauwkeurig bij botsproeven met hoge snelheid.
Leg uit waarom dat zo is.

## Proef 5 Een onderzoek uitvoeren – De rolweerstand van een fiets 45 min

### Inleiding
Stel je voor: in een tijdschrift voor amateurwielrenners beweert een sportwetenschapper: "Veel amateurrenners realiseren zich niet hoe belangrijk een juiste bandenspanning is. Met hard opgepompte banden ga je gewoon sneller: een paar bar extra kan de rolweerstand met wel 20% naar beneden brengen. Bij een tijdrit in een wielerwedstrijd levert dat zomaar enige tientallen seconden tijdswinst op."
Je vraagt je af of die wetenschapper wel gelijk heeft, en besluit op onderzoek uit te gaan.

### Doel
Je gaat een antwoord zoeken op de onderzoeksvraag:
*Hoe hangt de rolweerstand van je fiets af van de druk in de fietsbanden?*

### Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

### Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn? Tip: bedenk eerst hoe je de invloed van de luchtwrijving op je metingen zo klein mogelijk kunt maken.
- Bespreek met elkaar welke risico's zich zouden kunnen voordoen. Hoe kun je ervoor zorgen dat je deze proef veilig kunt uitvoeren?

**1** Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

**2** Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.
**3** Maak een grafiek waarin je de rolwrijving uitzet tegen de druk in de fietsbanden.
**4** Schrijf op tot welke conclusie je gekomen bent.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

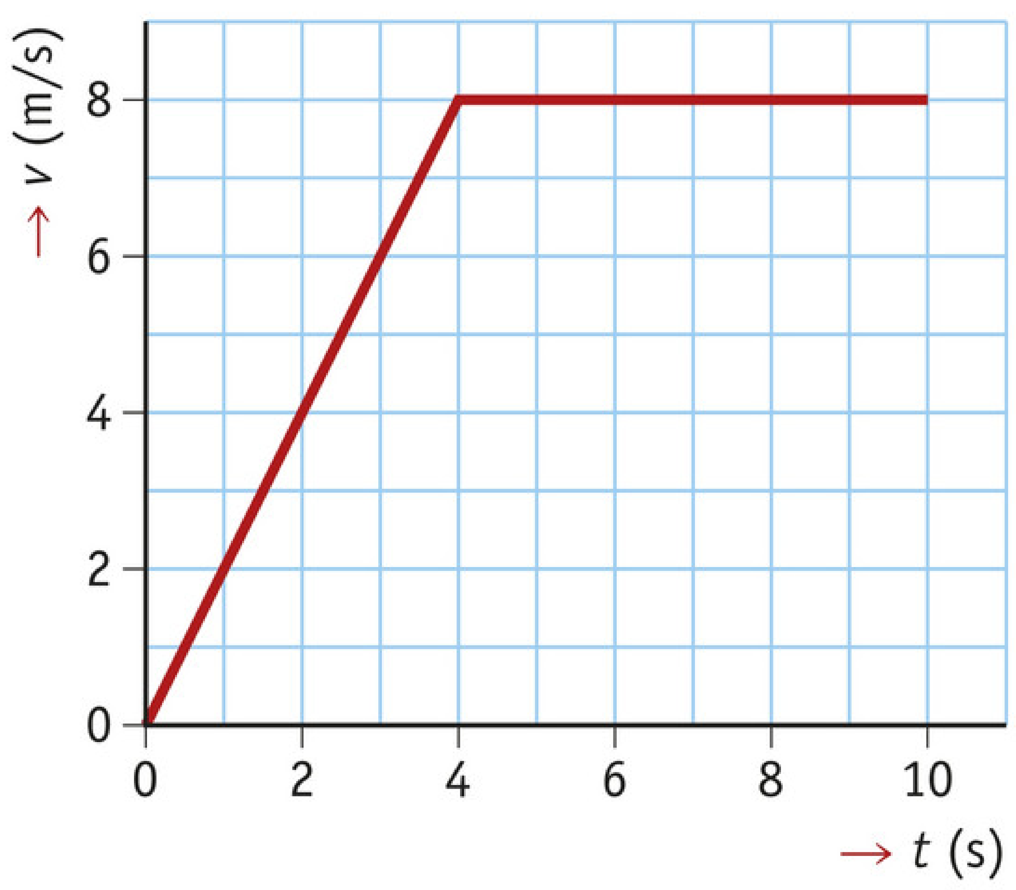
# Test Jezelf

**Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.**

**1** Een trein versnelt in 2,8 s van 72 naar 99 km/h.
Bereken de versnelling.

**2** In figuur 45 zie je het ($v$,$t$)-diagram van Hassan op zijn fiets.
Geef van elke bewering aan of deze waar of onwaar is.

**a** Tussen $t$ = 0 s en $t$ = 2 s legt Hassan een afstand af van 4 m.
**b** Tussen $t$ = 0 s en $t$ = 4 s is Hassans beweging eenparig versneld.
**c** Tussen $t$ = 4 s en $t$ = 10 s is de versnelling constant: 8 m/s$^2$.
**d** Na het tijdstip $t$ = 4 s neemt de afgelegde afstand niet verder toe.

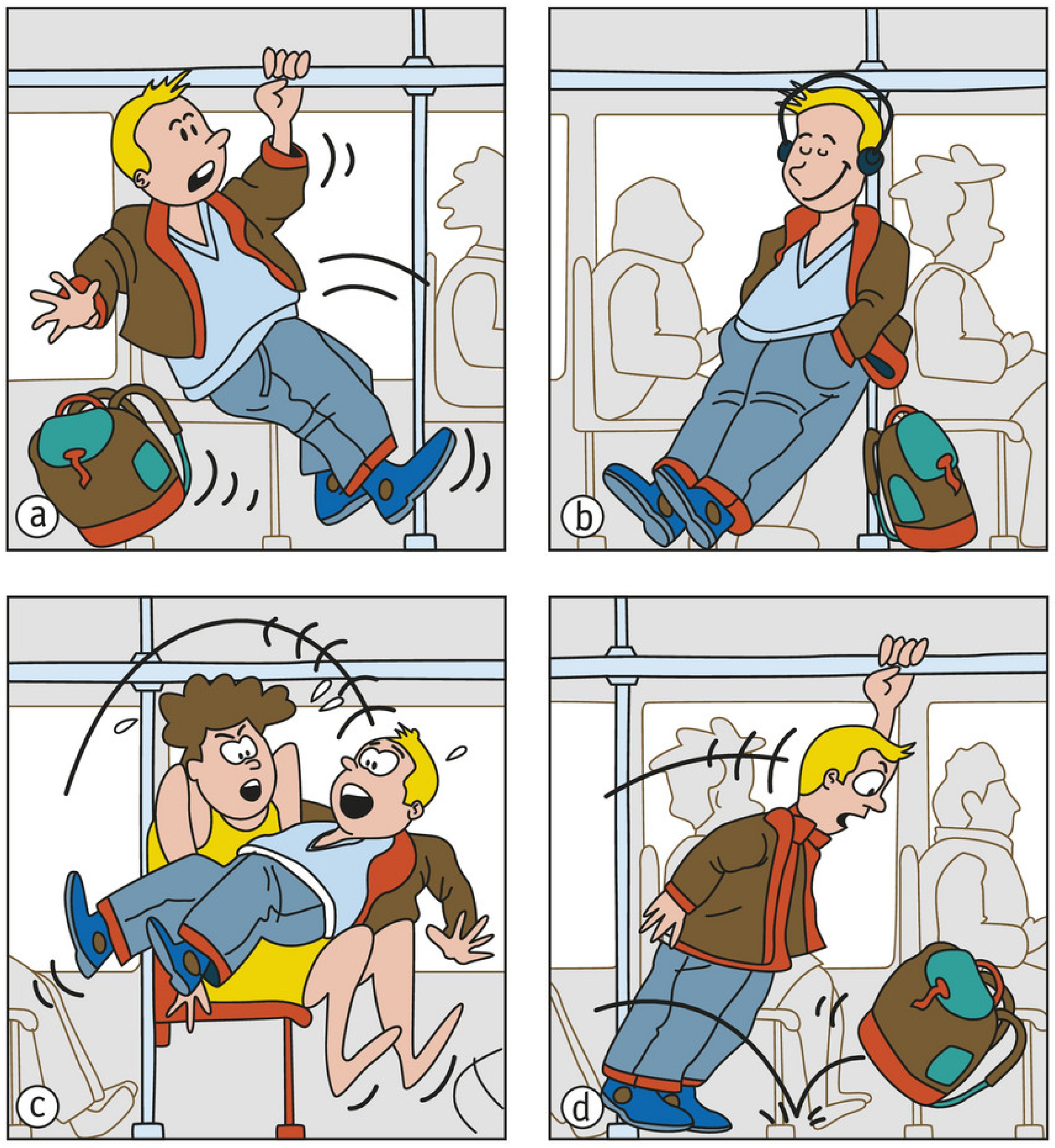



▲ **figuur 45**
de beweging van Hassan

**3** Vervolg van vraag 2.
Hoe groot is de afstand die Hassan in 10 s aflegt?
A 2 m
B 8 m
C 40 m
D 64 m
E 80 m

**4** Een motorrijder trekt op uit stilstand. De motor beweegt gedurende 2,5 s eenparig versneld met een versnelling van 6,2 m/s$^2$.
Bereken hoe snel de motor na die 2,5 s beweegt (in km/h).

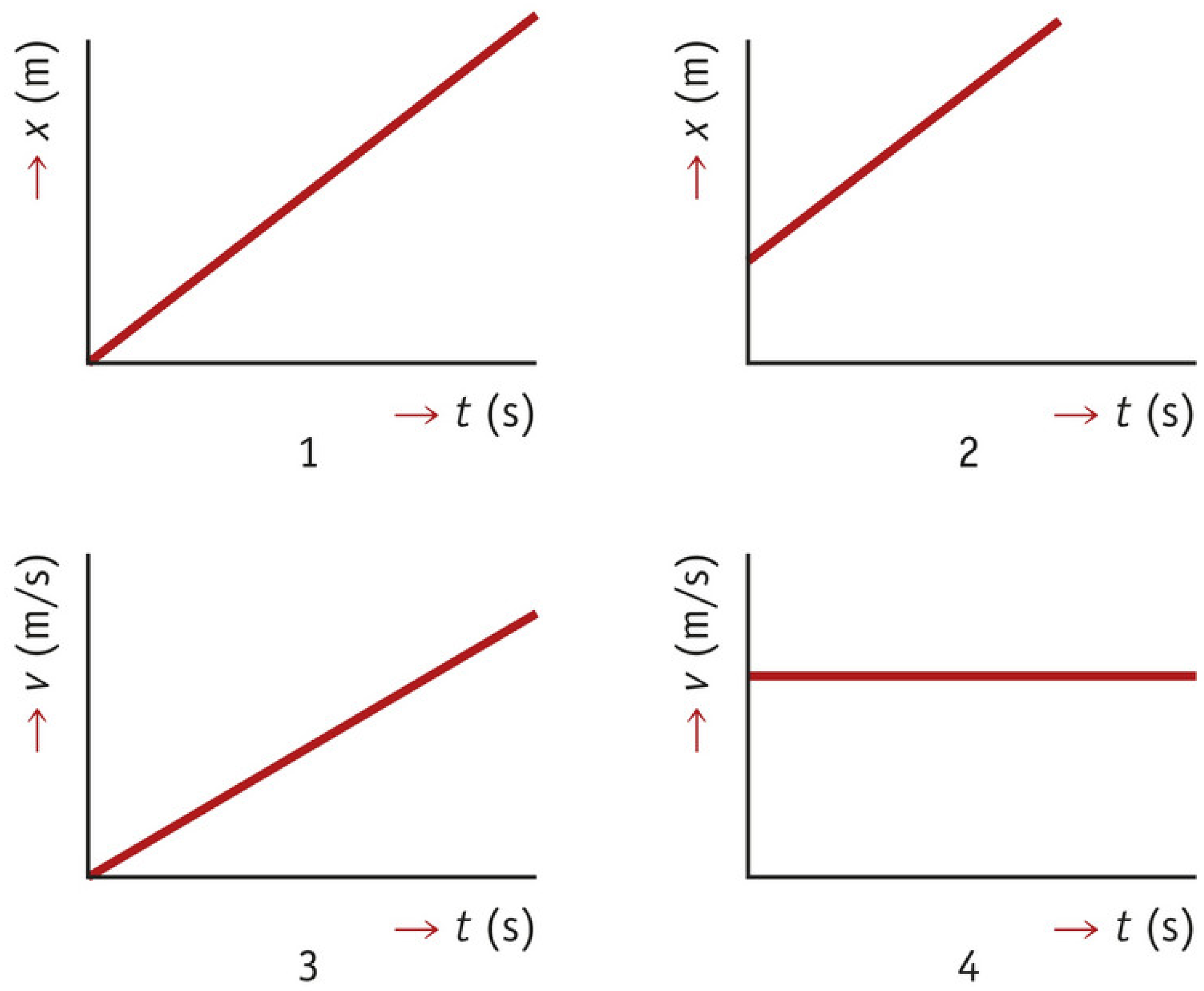
**5** Harmen kon geen plekje vinden in een overvolle bus. Nu staat hij in het middenpad (figuur 46).
In welk plaatje:
**a** maakt de bus een scherpe bocht naar rechts?
**b** rijdt de bus met een constante snelheid?
**c** begint de bus plotseling te rijden?
**d** remt de bus plotseling af?




▲ **figuur 46**
de belevenissen van Harmen

**6** Een auto versnelt van 90 naar 120 km/h.
Ahmed zegt: “Tijdens het versnellen is de voortstuwende kracht groter dan alle tegenwerkende krachten samen.”
Stella zegt: “Tijdens het versnellen wordt de luchtwrijving op de auto steeds groter.”
Wie heeft gelijk?
A Ahmed en Stella hebben allebei gelijk.
B Ahmed heeft gelijk, maar Stella niet.
C Stella heeft gelijk, maar Ahmed niet.
D Ahmed en Stella hebben allebei ongelijk.

**7** In figuur 47 zijn twee $(x,t)$-diagrammen en twee $(v,t)$-diagrammen getekend van een fietser. Welk(e) diagram(men) geven een beweging weer waarbij de resultante op de fietser gelijk is aan 0 N?




▲ **figuur 47**
Bij welke beweging was de resultante 0 N?

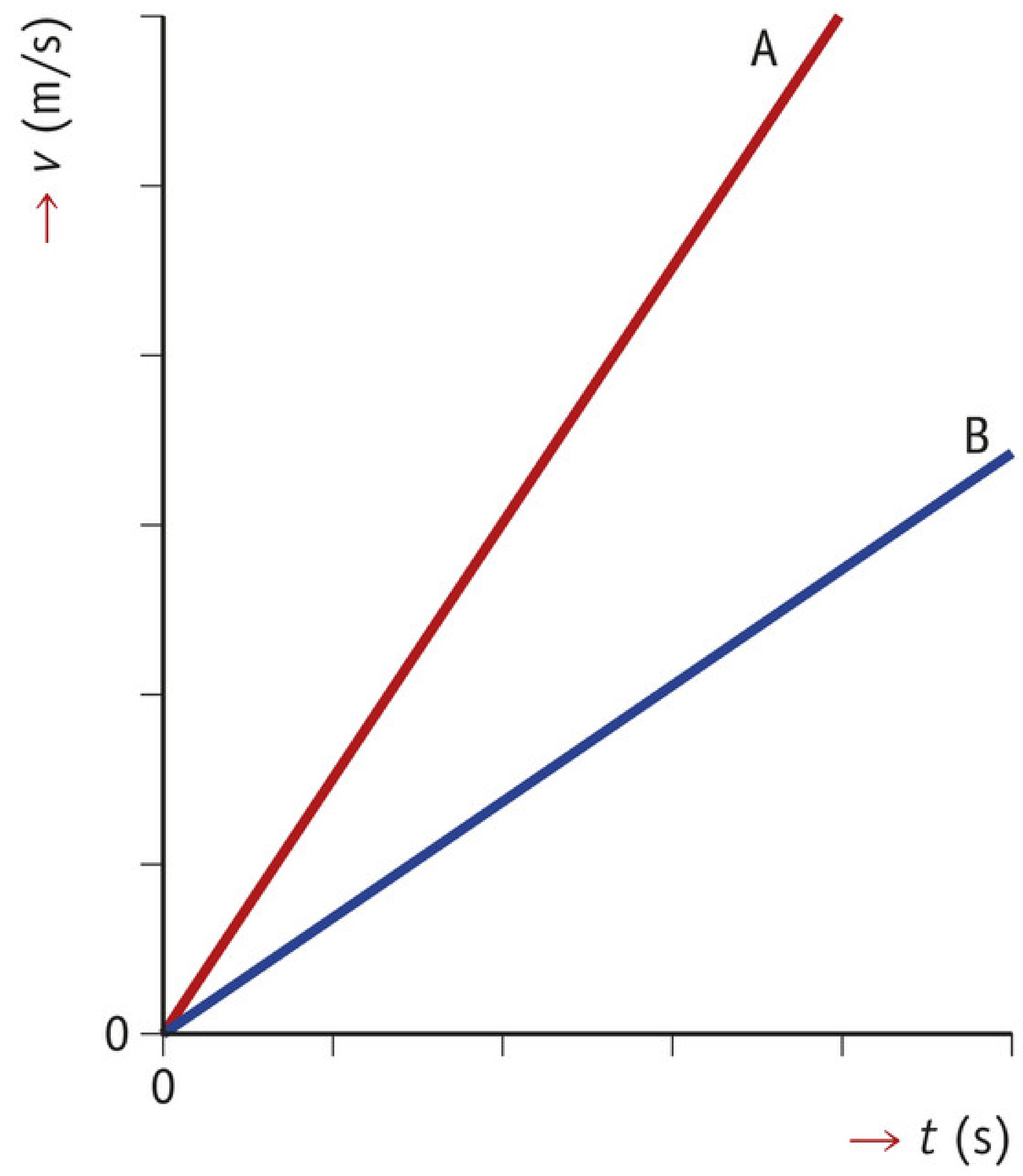
**8** Geef van elke bewering aan of deze waar of onwaar is.

- **a** Op een rijdende auto werken altijd tegenwerkende krachten, zoals de luchtwrijving en de rolwrijving.
- **b** Personenauto's hebben een gestroomlijnde vorm, omdat daardoor de rolwrijving veel kleiner wordt.
- **c** Als een automobilist de koppeling intrapt, beweegt de auto daarna verder met een constante snelheid.
- **d** Als de resultante loodrecht op de bewegingsrichting van de auto staat, verandert de snelheid van de auto niet.

**9** Op een voorwerp van 1 g werkt een resultante van 1 N.
Het voorwerp beweegt onder invloed van die resultante:

A met een snelheid van 1 m/s.
B met een snelheid van $1 \cdot 10^3$ m/s.
C met een versnelling van 1 m/s$^2$.
D met een versnelling van $1 \cdot 10^3$ m/s$^2$.

**10** In figuur 48 zie je het $(v,t)$-diagram van twee optrekkende auto's (A en B). Tijdens het optrekken was de resultante op beide voertuigen even groot.
Welke auto had de grootste massa?




▲ **figuur 48**
Welke auto heeft de grootste massa?

**11** Tijdens de lancering van een raket is de versnelling op een gegeven moment gelijk aan 20 m/s$^2$.
De massa van de raket is $3{,}0 \cdot 10^6$ kg.
Bereken hoe groot de resultante is die op de raket werkt.

**12** Vervolg van opgave 11.
Tijdens de lancering levert de raketmotor enige tijd een constante stuwkracht. De massa van de raket neemt ondertussen af, doordat er brandstof wordt verbruikt.
Wat zal hierdoor met de versnelling van de raket gebeuren?

A De versnelling wordt steeds kleiner.
B Niets, de versnelling blijft constant.
C De versnelling wordt steeds groter.

**13** Een automobilist remt af voor een scherpe bocht. Op de auto van 1200 kg (inclusief bestuurder) werkt daarbij een remkracht van 3,5 kN.
Bereken de vertraging.

**14** Een auto met een snelheid van 72 km/h remt in 5,0 s af tot stilstand.
Hoe groot is de remweg van de auto?

A 50 m
B 75 m
C 120 m
D 150 m
E 180 m
F 360 m

**15** Met dimlicht (gewoon licht) kun je in het donker 70 m vooruit zien. Met infrarood nachtzicht (figuur 49) kun je op een display 140 m vooruitzien.
Het infrarood nachtzicht:
- **A** laat je de dingen eerder zien, als ze nog verder weg zijn.
- **B** levert geen informatie die het autorijden veiliger maakt.
- **C** maakt de afstand kleiner die je aflegt tijdens de reactietijd.
- **D** maakt de afstand kleiner die je aflegt tijdens het remmen.



▲ **figuur 49**
infrarood nachtzicht

**16** Bij een serie remproeven rijdt de auto, voordat er geremd wordt, steeds 72 km/h.
Wat moeten de onderzoekers, behalve die snelheid, nog meer weten om de remkracht op de auto te kunnen berekenen? Kies uit:
- **a** de massa van de auto *ja / nee*
- **b** de reactietijd *ja / nee*
- **c** de remtijd *ja / nee*
- **d** de voortstuwende kracht *ja / nee*

**17** Een straaljager landt met een snelheid van 243 km/h op een vliegdekschip. Het vliegtuig komt in 4,5 s tot stilstand. De massa van de straaljager is $12 \cdot 10^3$ kg.
Bereken de (gemiddelde) kracht waardoor de straaljager wordt afgeremd.

**18** Vervolg van opgave 17.
- **a** Bepaal de afstand die de straaljager tijdens het remmen aflegt. Schets zijn ($v$,$t$)-diagram.
- **b** Bereken de gemiddelde snelheid van de straaljager. Wat valt je op?

**19** Bij deze opgave heb je werkblad 5-2 nodig.
In de tabel op het werkblad staan de stopafstand en de remtijd bij verschillende snelheden.
- **a** Teken de grafiek van de stopafstand tegen de snelheid.
- **b** Bepaal met behulp van de grafiek de snelheid waarbij een auto een stopafstand van 15 m heeft.
- **c** Bij een snelheid van 50 km/h is de remweg 14,4 m.
  Toon met een berekening aan dat de reactietijd 0,6 s moet zijn geweest.

***20** Lees de tekst in figuur 50.
- **a** Leg uit hoe het komt dat de snelheid van het slaghout nauwelijks afneemt, als die de bal raakt.
- **b** Ga met een berekening na of de in de tekst vermelde kracht 'van een paar duizend kilo' bij een homerun wordt bereikt. De massa van een honkbal is 0,145 kg.



Een honkslag voltrekt zich binnen een duizendste van een seconde en daarbij gaat het om krachten van een paar duizend kilo. Om een homerun te slaan (waarbij de bal uit het stadion vliegt), moet een bal het slaghout verlaten met een snelheid van 170 km/h!

▲ **figuur 50**
een fragment uit een krantenartikel over honkbal



**Wachten voor een rood verkeerslicht. Rijden ... stilstaan ... rijden ... en weer stilstaan voor het volgende rode licht. Voor veel automobilisten is het rijden in een drukke stad een dagelijks terugkerende ergernis. “Als het een beetje tegenzit, sta je meer stil dan je rijdt!” mopperen ze. Voor verkeersmanagers is onze irritatie juist een uitdaging: hoe kunnen we het verkeer beter laten doorstromen zonder dat de veiligheid achteruitgaat?**

# Werken als verkeersmanager



In een dichtbevolkt land zoals Nederland kan het verkeer gemakkelijk vastlopen. Vooral in de spits is de verkeersdruk enorm groot. Knelpunten in het wegennet leiden onvermijdelijk tot veel vertraging. Het is het werk van verkeersmanagers om daar slimme oplossingen voor te bedenken. Hoe efficiënter het verkeer wordt afgewikkeld, des te minder hoeven de mensen te wachten.

Plannen om een weg of een kruispunt anders in te richten, hebben veel impact. Duizenden verkeersdeelnemers – soms nog veel meer – krijgen ermee te maken en bijna allemaal hebben ze er een mening over. Maar over de mensen die de plannen ontwikkelen, hoor je bijna nooit iets. Reden genoeg om eens met zo'n plannenmaker te gaan praten. Verkeersmanager Aymee Prinsen (26) vertelt ons over haar werk.

### *Hoe word je verkeersmanager?*

"Ik heb verkeer altijd interessant gevonden. Al die mensen die zich elke dag opnieuw verplaatsen: hoe kun je dat nou zo goed mogelijk regelen? Puzzelen aan een probleem tot je de optimale oplossing te pakken hebt, dat vind ik gewoon leuk. Toen ik een vervolgopleiding moest kiezen na de havo, heb ik er niet lang over na hoeven te denken. Ik wist gewoon dat het iets met verkeer zou worden.

Na de havo heb ik de opleiding *Built Environment* gedaan aan het hbo. Je kon daar kiezen uit verschillende vakgebieden en uitstroomprofielen. Met mijn belangstelling voor verkeer kom je automatisch terecht bij het vakgebied mobiliteit. Ik heb het uitstroomprofiel verkeersmanager gekozen, omdat ik vooral in de techniek geïnteresseerd ben en ervan houd om concrete problemen op te lossen.

De opleiding was heel praktijkgericht. Je leert hoe je een veilige weg ontwerpt, kruispunten inricht en het verkeer in een stad in goede banen leidt. Je krijgt ook wel theorievakken, maar de meeste tijd ben je bezig met projecten. Dan



| | |
|---|---|
| naam | **Aymee Prinsen** |
| leeftijd | **26 jaar** |
| opleiding | **havo profiel N+T**<br>**hbo Built Environment: profiel verkeersmanager** |
| functie | **adviseur verkeersmanagement** |
| plannen | **over tien jaar een eigen adviesbureau beginnen** |

werk je met een groepje studenten aan een opdracht voor een externe opdrachtgever, zoals een gemeente die de verkeersveiligheid op een kruispunt wil verbeteren.”

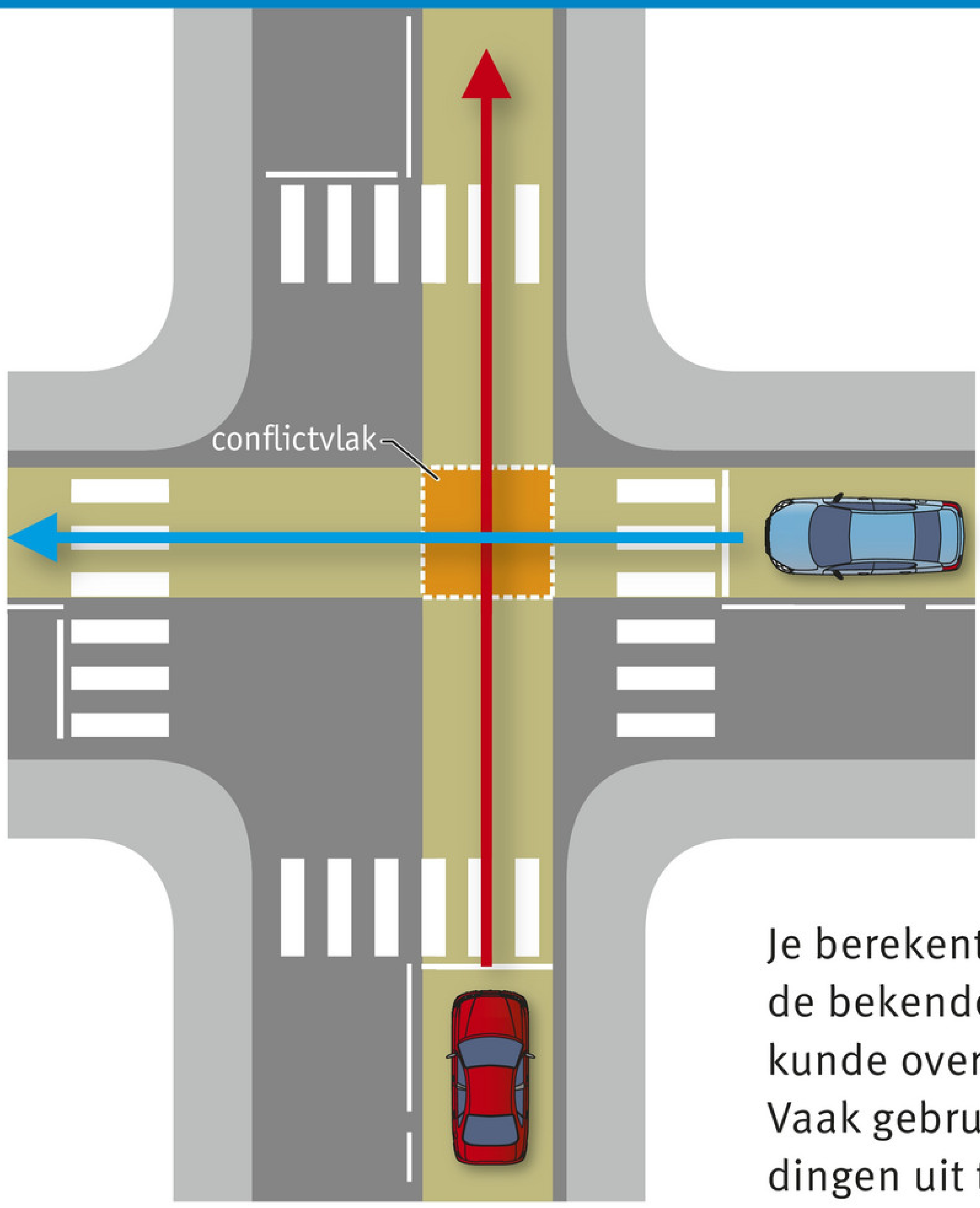
### *Wat houdt je werk zoal in?*

“Na het hbo ben ik gaan werken als adviseur bij een middelgroot adviesbureau. Er werken ongeveer twintig mensen, waarvan vijf in de verkeerstechniek. Daar ben ik bezig met projecten zoals het optimaal inrichten van kruispunten met verkeerslichten.

Zo’n project begint ermee dat ik met een mogelijke opdrachtgever ga praten. Als ons bureau de opdracht krijgt, maak ik eerst een ontwerp. Ik reken bijvoorbeeld uit hoelang en in welke volgorde de verkeerslichten op groen moeten staan, en hoeveel tijd het verkeer daarna krijgt om het conflictvlak – zo noem je het gebied waar de verkeersstromen elkaar kruisen – leeg te maken.

Als het ontwerp af is, zet ik het om in een computerprogramma dat de verkeerslichten aan- en uitzet. Ik maak zo’n programma in Visual C – een computertaal – en test het met behulp van verkeerssimulatie-programma’s.

Tijdens de installatie van de verkeerslichten houd ik toezicht namens de gemeente, om te zien of de plannen juist worden uitgevoerd. Als alles er staat en de programma’s zijn geïnstalleerd, wordt het systeem nog één keer getest. En dan komt ten slotte de opening. Dat is altijd spannend, want je wilt natuurlijk niet dat er dan nog iets fout gaat.”

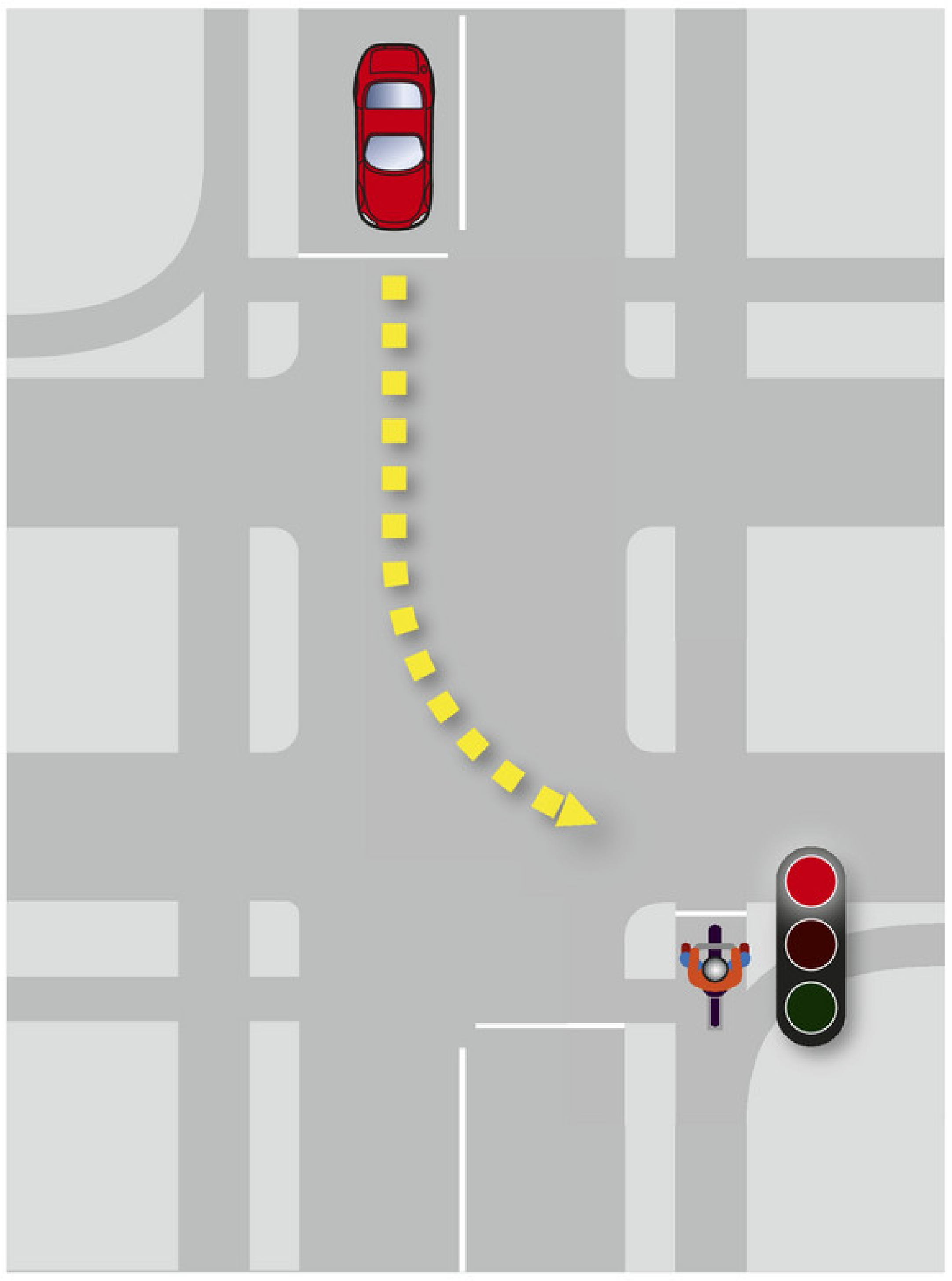



### *Welke rol speelt natuurkunde in jouw vakgebied?*

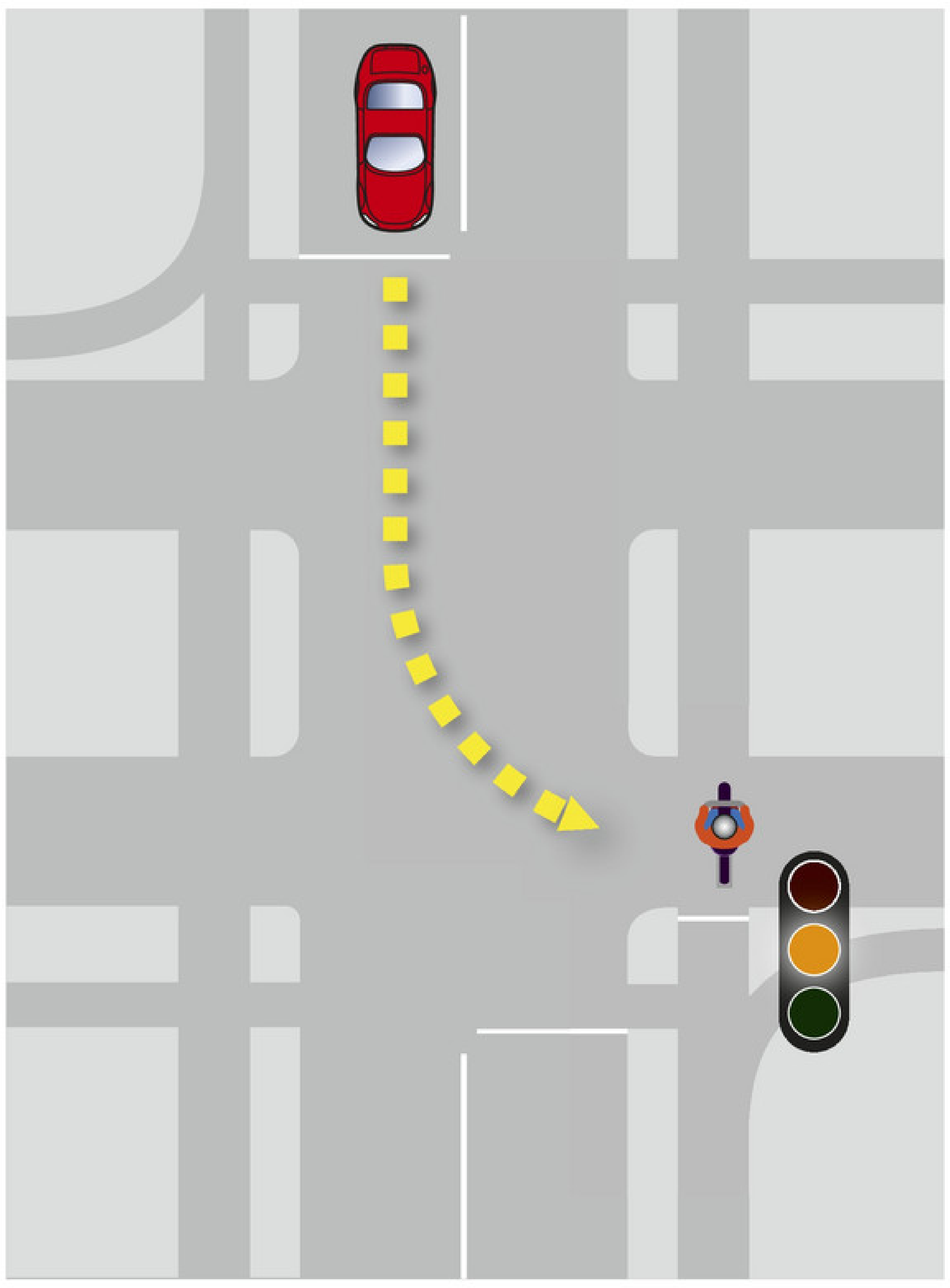
“Als een verkeerslicht op oranje springt, duurt het even voordat het conflictvlak leeg is en het verkeer uit een andere richting kan gaan oprijden. Je noemt dat de ontruimingstijd. Als verkeerskundige moet je nogal eens de ontruimingstijd berekenen, omdat die voor ieder kruispunt en elk soort verkeersdeelnemer weer anders is.

Je berekent de ontruimingstijd met de bekende formules uit de natuurkunde over afstand en snelheid. Vaak gebruik ik een computer om dingen uit te rekenen, maar ik maak ook wel berekeningen op een stuk papier, met een rekenmachine. Dat is ook een manier om mezelf gerust te stellen, dat alles klopt.

Op school mag je wel eens een fout maken in een berekening, maar in de verkeerstechniek is dat niet zo. Als je een verkeerslicht te snel op groen laat springen, kan dat tot ongelukken leiden. Gelukkig vind je een fout meestal wel bij



Onnodig wachten …



of doorrijden met intergroen

het testen, maar er blijft altijd een risico. Bovendien kost het herstellen van een fout in de software veel tijd en geld."

### *Zit er genoeg uitdaging in je werk?*

"O ja, absoluut. Net zoals elk bedrijf moeten ook wij voortdurend innoveren. De ideeën over doorstroming en veiligheid veranderen steeds en wij moeten daarin mee. Een leuk voorbeeld is de norm voor groen licht bij verkeerslichten. Ik heb in mijn opleiding bijvoorbeeld geleerd dat je nooit twee richtingen tegelijk groen licht mag geven: als de ene richting groen heeft, moet de kruisende richting rood krijgen. Eigenlijk wist iedereen toen al dat die norm te streng is. Soms duurt het oprijden (van de stopstreep naar het conflictvlak) erg lang, terwijl het afrijden juist snel gaat. De ontruimingstijd is dan negatief: het conflictvlak is eerder leeg dan nodig is. Er is nu een gloednieuwe aanpak, intergroen, die deze extra tijd benut. Daarbij springen de lichten voor richting A al op groen, terwijl de lichten voor richting B nog even op groen blijven staan."

"Intergroen scheelt per cyclus maar een paar seconden, maar over de hele dag gerekend tikt het lekker aan. Waarschijnlijk is intergroen ook goed voor de verkeersveiligheid, omdat er minder door rood gereden wordt. Daar wordt nu nog onderzoek naar gedaan. Hoe dan ook, als intergroen straks in heel Nederland toegepast mag worden, moeten wij daar als bureau klaar voor zijn. Want elke seconde die wij veilig van de wachttijd af kunnen halen, is winst."

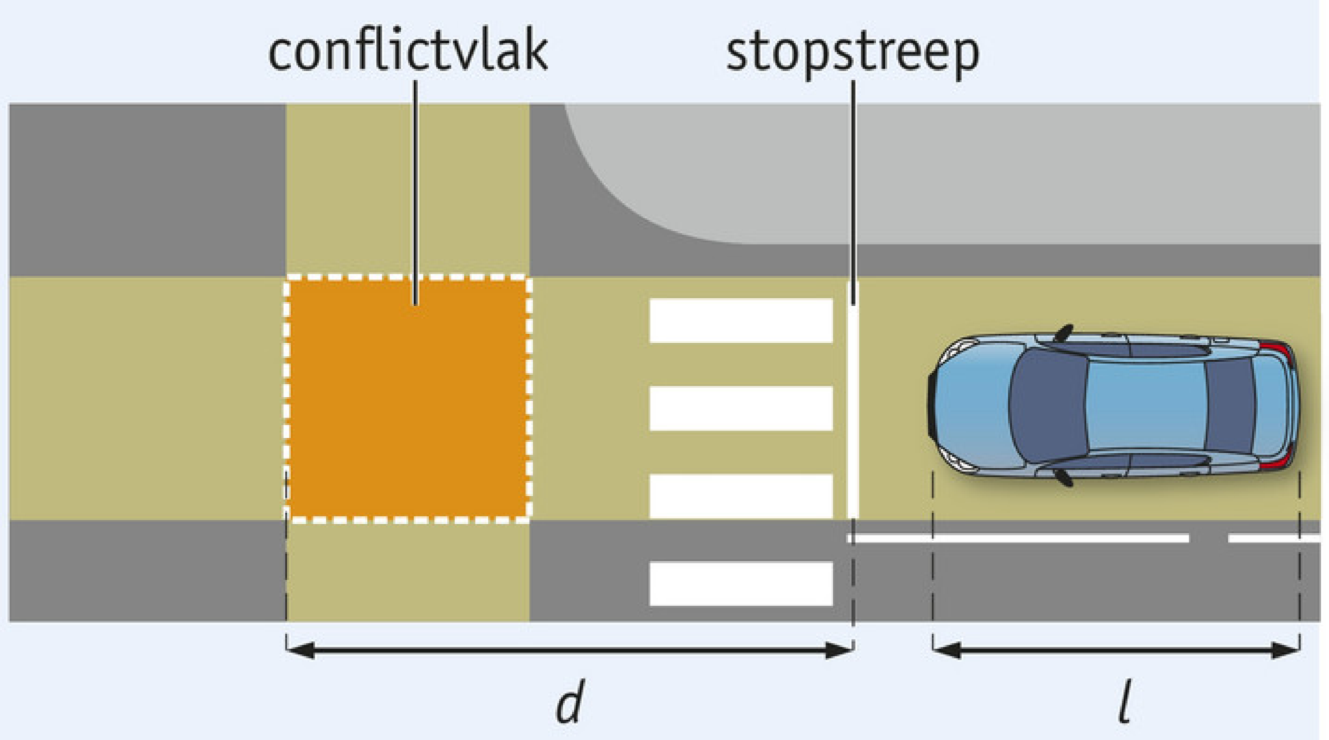
## WEETJE

In 2014 deed de Grontmij samen met Rijkswaterstaat een onderzoek naar de effectiviteit van intergroen. De studie liet zien dat het aantal voertuigverliesuren op kruispunten door intergroen met gemiddeld 3,6% wordt teruggebracht. Dat zou voor heel Nederland een besparing van 4,9 miljoen voertuigverliesuren per jaar opleveren.

## Opgaven

**1** Als een verkeerslicht op rood springt, duurt het nog even voordat de laatste auto het conflictvlak heeft verlaten. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de afrijtijd genoemd. De afrijtijd wordt berekend met de formule:

$$t_{af} = \frac{d + l}{v_{af}}$$




**a** Leg met de tekening hiernaast uit wat de letters *d* en *l* betekenen.
**b** Leg uit waarom het noodzakelijk is om de *l* in de formule op te nemen.
**c** Hoe groot is de *l* voor een auto? En voor een bus? Maak een schatting.

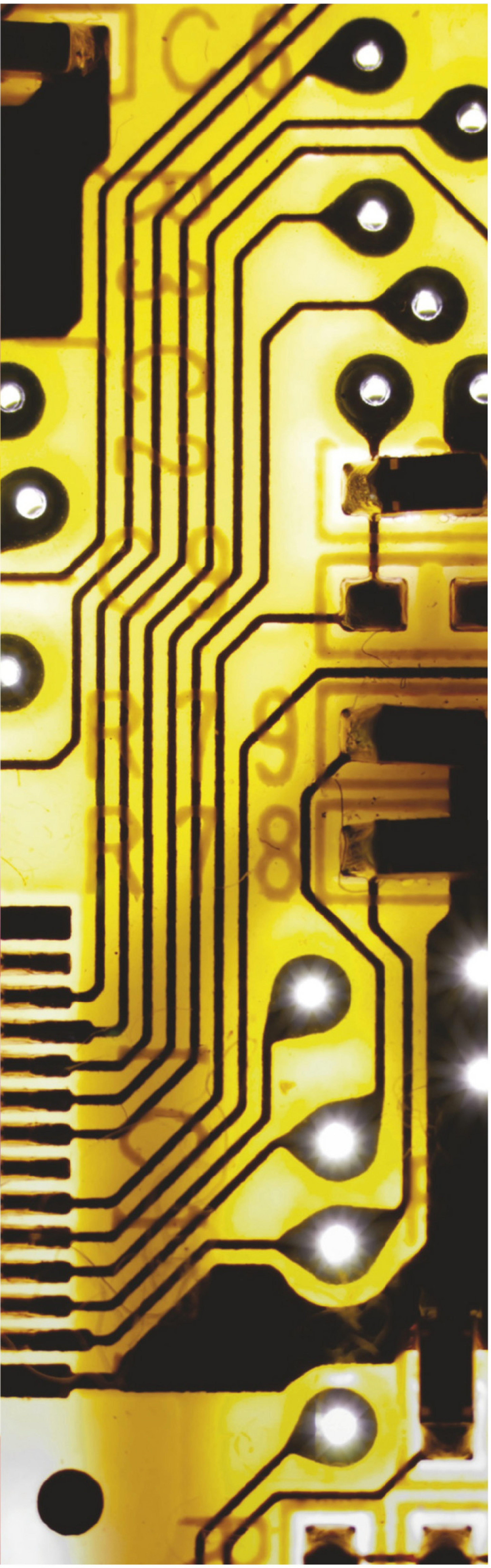
**2** Als een verkeerslicht op groen springt, duurt het nog even voordat de eerste auto het conflictvlak oprijdt. De tijd die hiervoor nodig is, wordt de oprijtijd genoemd. De afrijtijd wordt berekend met de formule:

$$t_{op} = \frac{d}{v_{op}}$$

**a** Maak een tekening van de situatie en geef daarin aan hoe je *d* moet meten.
**b** Leg uit waarom *l* niet voorkomt in deze formule, en wel in die voor de afrijtijd.

***3** Zoek op internet informatie over intergroen.
Schrijf een korte tekst (één A4) waarin je vertelt wat intergroen inhoudt en wat de voor- en nadelen zijn.


3
6
9
#



# 6

# Schakelingen

## Automatisch regelen

**In veel apparaten zit een schakeling die dingen kan waarnemen en daarop kan reageren. Dankzij die schakeling kan het apparaat zelfstandig zijn werk doen. Voorbeelden hiervan zijn: koffiezetten, frisdrank verkopen, alarm slaan, de temperatuur regelen en een deur openen of sluiten.**

# 1 Lading en spanning

**Als je op een droge winterdag een fleece trui uittrekt, hoor je een zacht geknetter. In het donker kun je zelfs vonkjes zien overspringen. Die vonkjes zijn ontladingen van statische elektriciteit: ongevaarlijk onder normale omstandigheden, maar niet echt aangenaam als de stroom via je lichaam loopt.**

## Voorwerpen opladen

Als je een pvc-buis wrijft met een wollen doek, trekt de buis daarna papieren snippers aan. Ook een dun waterstraaltje wordt door de buis aangetrokken. Je zegt dat de pvc-buis door het wrijven **elektrisch geladen** of **statisch** is.



▲ **figuur 1**
Polystyreen balletjes worden aangetrokken door een kam die door wrijving geladen is.

Dat een voorwerp geladen is, kun je op verschillende manieren merken:
- Het voorwerp trekt andere voorwerpen aan (figuur 1). Dat kun je bijvoorbeeld zien doordat er zich veel stof op het voorwerp verzamelt.
- Er kunnen vonkjes overspringen naar andere voorwerpen. Dat kun je horen (als een zacht geknetter) en soms ook zien of voelen.

Een geladen voorwerp is zijn lading meestal snel weer kwijt. Hoe meer waterdamp er in de lucht zit, des te sneller ontlaadt het voorwerp weer. Proeven met geladen voorwerpen lukken daardoor het best als de lucht erg droog is; als het buiten vriest en de cv flink hoog staat, zijn de omstandigheden ideaal. In vochtige lucht is de lading te vlug verdwenen.

## Positieve en negatieve lading Proef 1

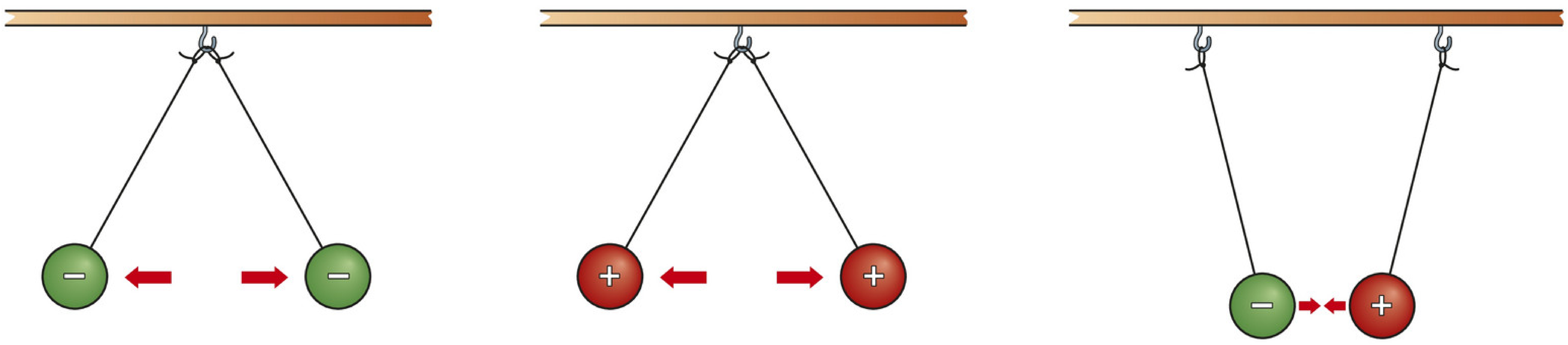
Als je een perspex staaf flink wrijft met een zijden doek, wordt de staaf geladen. Hetzelfde gebeurt als je een pvc-buis wrijft met een wollen doek. Toch is er een verschil tussen de lading die beide voorwerpen hebben gekregen. Twee geladen perspex staven stoten elkaar af. Hetzelfde geldt voor twee geladen pvc-buizen. Maar een geladen perspex staaf en een geladen pvc-buis trekken elkaar juist aan.

Je kunt deze proeven herhalen met voorwerpen en doeken die van allerlei verschillende stoffen gemaakt zijn. Je merkt dan dat er twee soorten **lading** bestaan. Voorwerpen met dezelfde lading stoten elkaar af (figuur 2). Voorwerpen met een verschillende lading trekken elkaar juist aan.



◀ **figuur 2**
Dit gebeurt er met je haren, als ze dezelfde lading krijgen.

De ene soort lading noem je **positief** of plus, de andere soort noem je **negatief** of min. Een perspex staaf die met een zijden doek gewreven is, heeft een positieve lading. Een pvc-buis die met een wollen doek gewreven is, heeft een negatieve lading. Plus en plus stoten elkaar af, net als min en min, maar plus en min trekken elkaar aan (figuur 3).



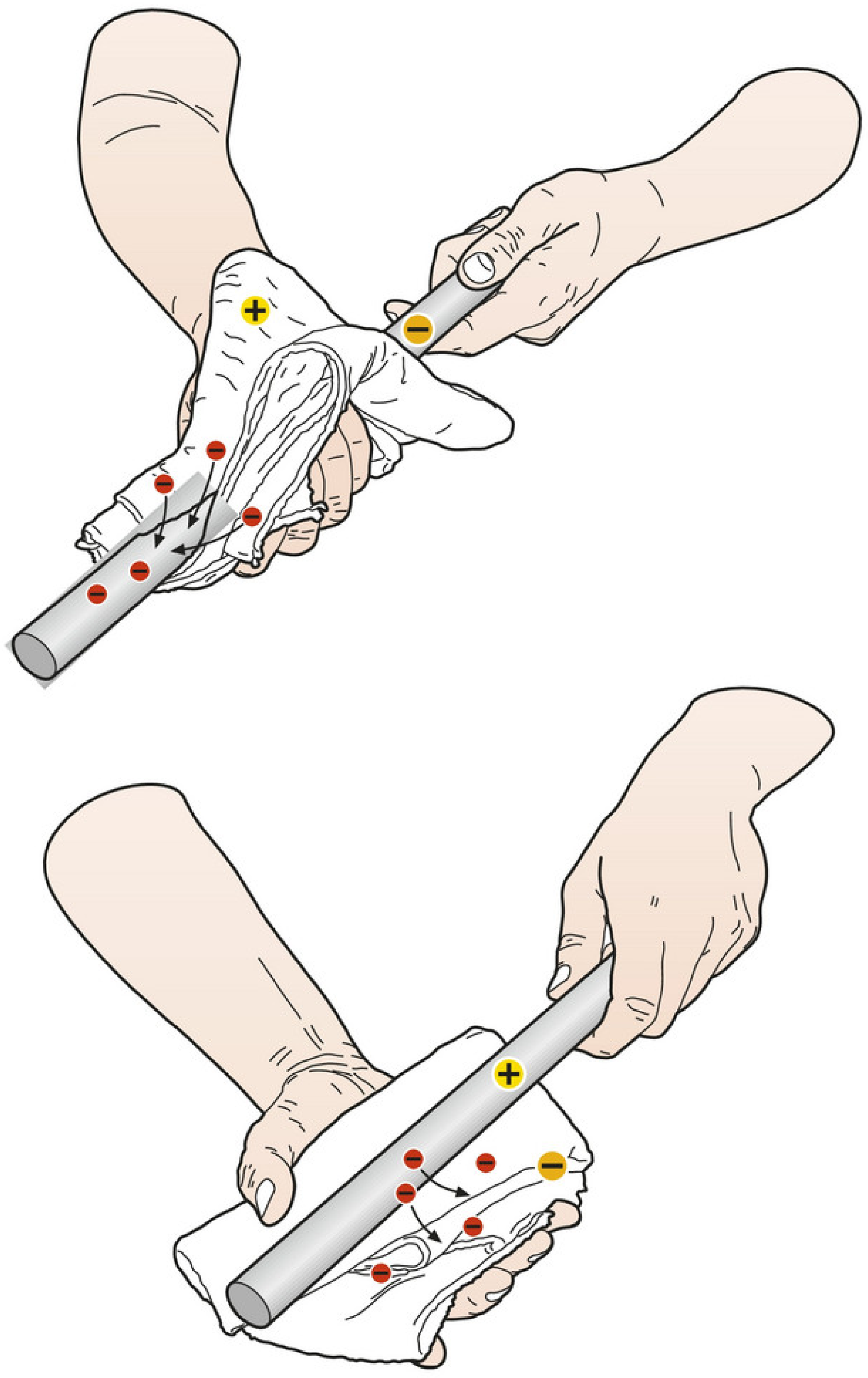
▲ **figuur 3**
afstoten en aantrekken

## Elektronen

Een niet-geladen voorwerp bevat precies evenveel positieve als negatieve lading. Daardoor merk je niet dat zo'n voorwerp lading bevat. In dat geval zeg je dat het voorwerp **neutraal** is.

Als je een voorwerp met een doek wrijft, kunnen er kleine, negatief geladen deeltjes 'overspringen': van de doek naar het voorwerp of omgekeerd. Deze deeltjes heten **elektronen** (figuur 4). Er bestaan ook positieve deeltjes maar die kunnen niet van het ene naar het andere voorwerp bewegen. Bij het wrijven van het voorwerp verplaats je dus altijd negatieve lading (en nooit positieve lading).

Als de elektronen van de doek naar het voorwerp overspringen, heeft het voorwerp daarna meer negatieve dan positieve lading: het is dan in totaal negatief geladen. De doek is juist elektronen kwijtgeraakt en heeft daardoor een even grote, positieve lading gekregen. Als de elektronen van het voorwerp naar de doek overspringen, gebeurt het omgekeerde. In dat geval wordt de doek negatief geladen en het voorwerp positief.

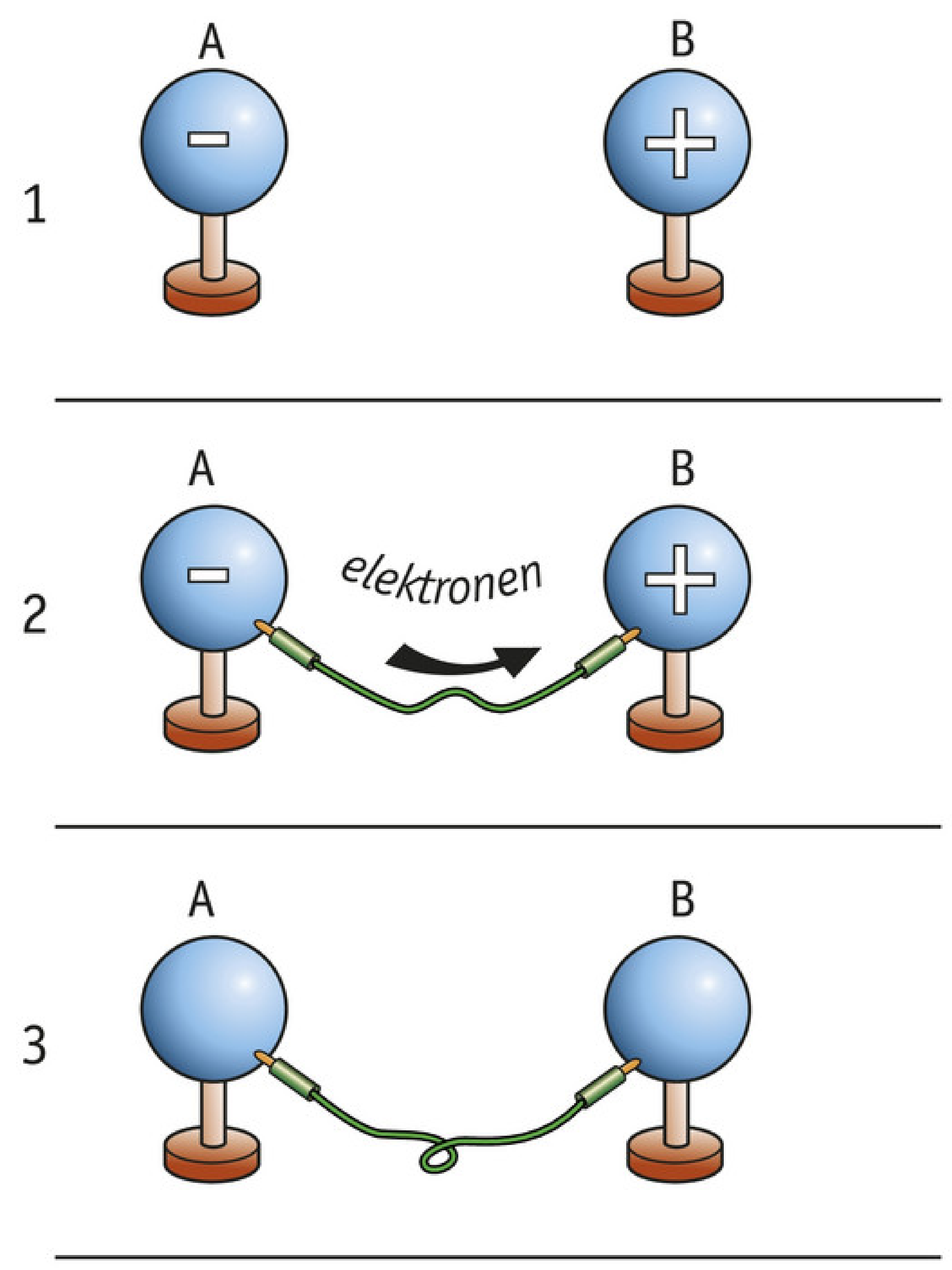


▲ **figuur 4**
Bij wrijven verplaatsen elektronen zich.

## Spanning en elektronen

In figuur 5 op de volgende bladzijde zie je twee even grote metalen bollen op een plastic voet. Bol A is negatief geladen, bol B is positief geladen. In zo'n geval zeg je dat er tussen A en B een **spanning** bestaat. Zodra je tussen A en B een geleidende verbinding maakt, gaan er elektronen bewegen van A naar B. Er loopt dan een elektrische stroom.

De stroom tussen A en B loopt maar heel even. Dat komt doordat er tussen A en B al heel snel geen spanning meer bestaat; de beide bollen hebben dan dezelfde lading gekregen. Een geladen voorwerp kan ook ontladen doordat er een vonk overspringt naar iets (of iemand) anders. Ook dat duurt maar heel kort: het geladen voorwerp raakt in een fractie van een seconde zijn lading kwijt.



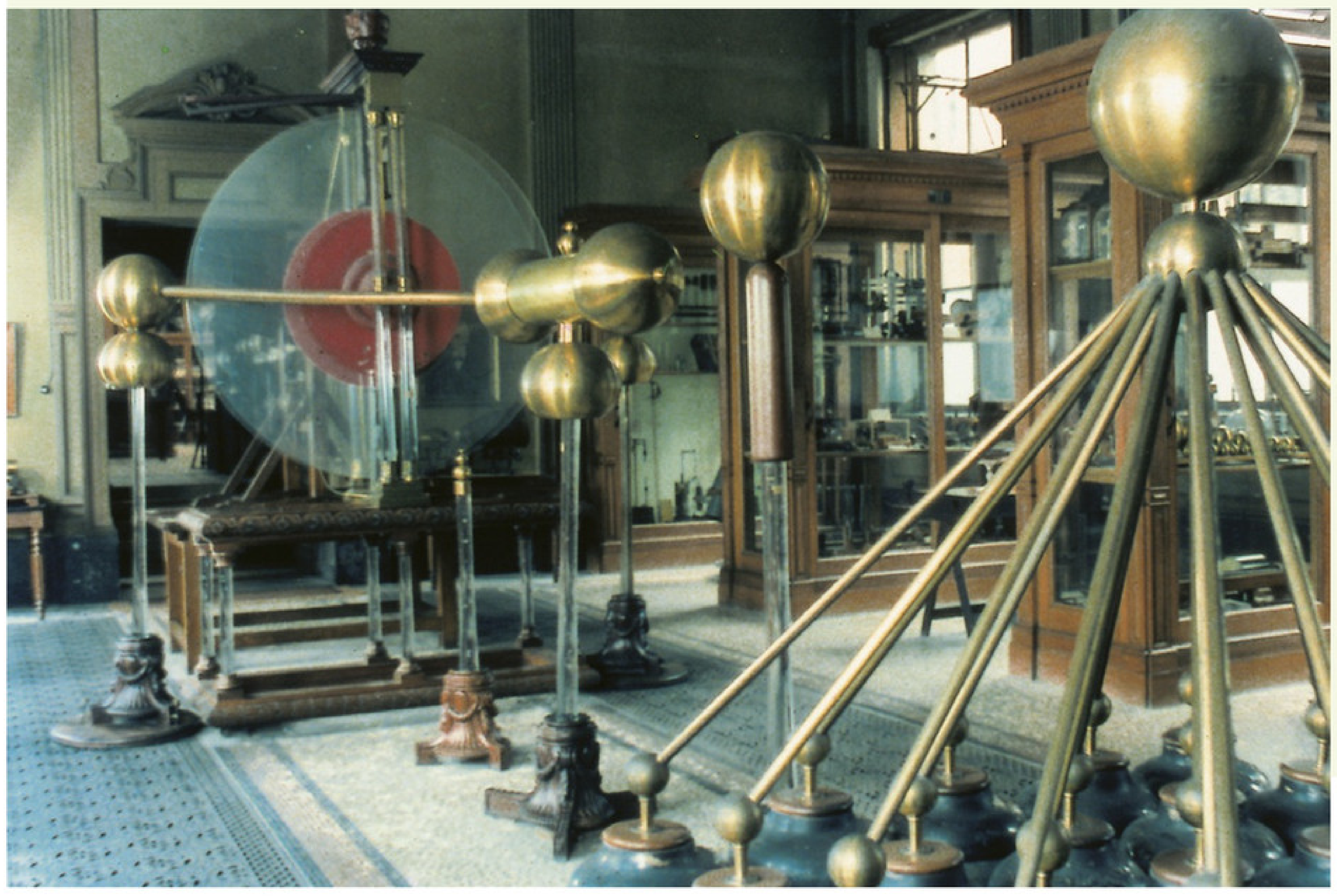

Dat er vonken kunnen overspringen, komt doordat er tussen geladen voorwerpen en hun omgeving een hoge spanning bestaat. Een auto kan bijvoorbeeld tijdens het rijden een spanning opbouwen van wel 3000 V. Als je uitstapt, merk je dat: je voelt een schok als de auto zich via je lichaam ontlaadt. Zo'n schok is niet gevaarlijk, omdat de stroom maar heel kort door je lichaam loopt.

Een spanningsbron moet lange tijd achtereen een stroom kunnen laten lopen. Daarom gebruik je in het dagelijkse leven dynamo's, accu's en batterijen in plaats van door wrijving geladen voorwerpen.

◀ **figuur 5**
Elektronen bewegen van min naar plus.

## Plus Elektriseermachines

Een elektriseermachine is een apparaat waarmee je voorwerpen flink op kunt laden. Zo kunnen er hoge spanningen ontstaan. In de zeventiende en achttiende eeuw zijn verschillende soorten elektriseermachines ontworpen. Ze werden gebruikt om er flinke vonken mee te maken en er allerlei vermakelijke proeven mee uit te voeren. Dat soort proeven wordt nog steeds op scholen gedaan, met een elektriseermachine of een bandgenerator.



Een van de grootste elektriseermachines werd in 1784 gemaakt door Martinus van Marum (1750–1837; figuur 6). Dit apparaat staat nu tentoongesteld in het Teylers Museum in Haarlem. De hele machine heeft een lengte van ruim tien meter. Op droge winterdagen kon Van Marum er vonken mee maken van wel een halve meter lengte.

◀ **figuur 6**
de elektriseermachine van Van Marum

**opgaven** **Leerstof**

**1** Je kunt een pvc-buis laden door hem te wrijven met een wollen doek.
- **a** Wat voor lading krijgt de pvc-buis daardoor?
- **b** Hoe heten de deeltjes die hierbij van het ene naar het andere voorwerp 'overspringen'?
- **c** Gaan die deeltjes van de buis naar de doek of van de doek naar de buis?
- **d** Wat voor lading krijgt de wollen doek daardoor?

**2** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waaraan kun je merken dat een voorwerp elektrisch geladen (statisch) is?
- **b** Waarom mislukken proeven met geladen voorwerpen vaak bij regenweer?
- **c** Wat weet je over de hoeveelheid lading in een voorwerp dat neutraal is?
- **d** Soms voel je een schok als je na een autorit weer uitstapt. Hoe komt dat?

## Toepassing

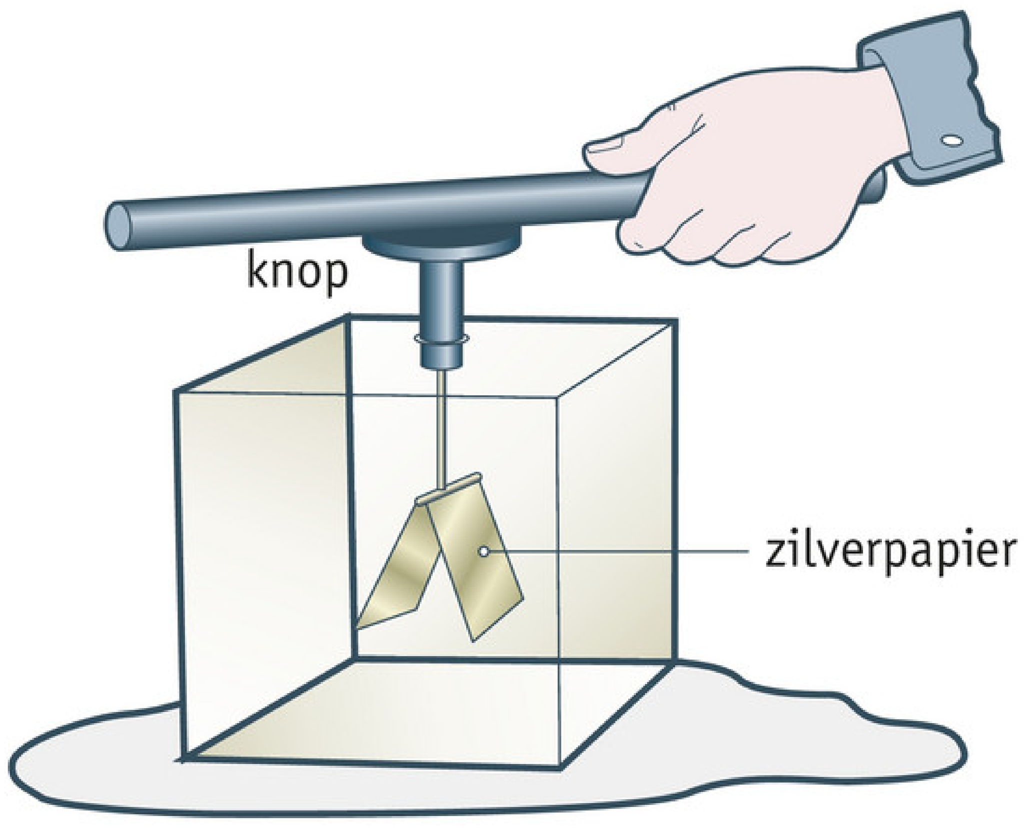
**3** Bij helder vriesweer is de luchtvochtigheid laag. Je kunt dan goed merken dat voorwerpen door wrijving elektrisch geladen worden.
Op welke manier(en) kun je merken:
- **a** dat je haar en kam geladen worden als je je haar kamt?
- **b** dat een fleece trui geladen wordt als je hem over je hoofd uittrekt?
- **c** dat een strook plakband geladen wordt als je hem lostrekt van de rol?




▲ **figuur 7**
De chauffeur van de tankauto rolt de aardekabel af.

**4** Bij deze opgave heb je werkblad 6-1 nodig.
Kevin doet een proefje waarbij hij twee pingpongballen ophangt aan een nylon draad. Even later hangen de pingpongballen stil. Zie tekening a op het werkblad.
Kevin zegt: "De twee ballen zijn op dezelfde manier geladen."
Dennis zegt: "De ene bal is geladen, de andere niet."
Peter zegt: "De twee ballen zijn helemaal niet geladen."
- **a** Wie heeft er gelijk en waarom?
- **b** Teken in de vakken b en c wat je in de andere twee gevallen zou zien.
- **c** Noteer bij elke tekening welke jongen deze situatie heeft beschreven.

**5** Tijdens een vlucht kan een vliegtuig geladen worden door wrijving met de lucht.
Leg uit:
- **a** waarom die elektrische lading een risico kan gaan vormen als het vliegtuig na de landing wordt bijgetankt.
- **b** waarom de kans op een ongeluk het grootst is in de winter, vooral als het op de luchthaven stevig vriest.
- **c** waarom je het vliegtuig voor het tanken eerst met een metalen 'aardekabel' met de tankauto moet verbinden (figuur 7).
- **d** waarom de klemmen van de 'aardekabel' goed contact moeten maken met het metalen frame van het vliegtuig.




▲ **figuur 8**
een elektroscoop

**6** In figuur 8 zie je een elektroscoop. Met dit apparaat kun je nagaan of een voorwerp geladen is. Als je een geladen voorwerp tegen de knop drukt, bewegen de twee blaadjes zilverpapier bij elkaar vandaan.
- **a** Leg uit hoe dat komt.
- **b** Kun je aan de uitslag van de elektroscoop zien of deze positief of negatief geladen is? Leg uit.



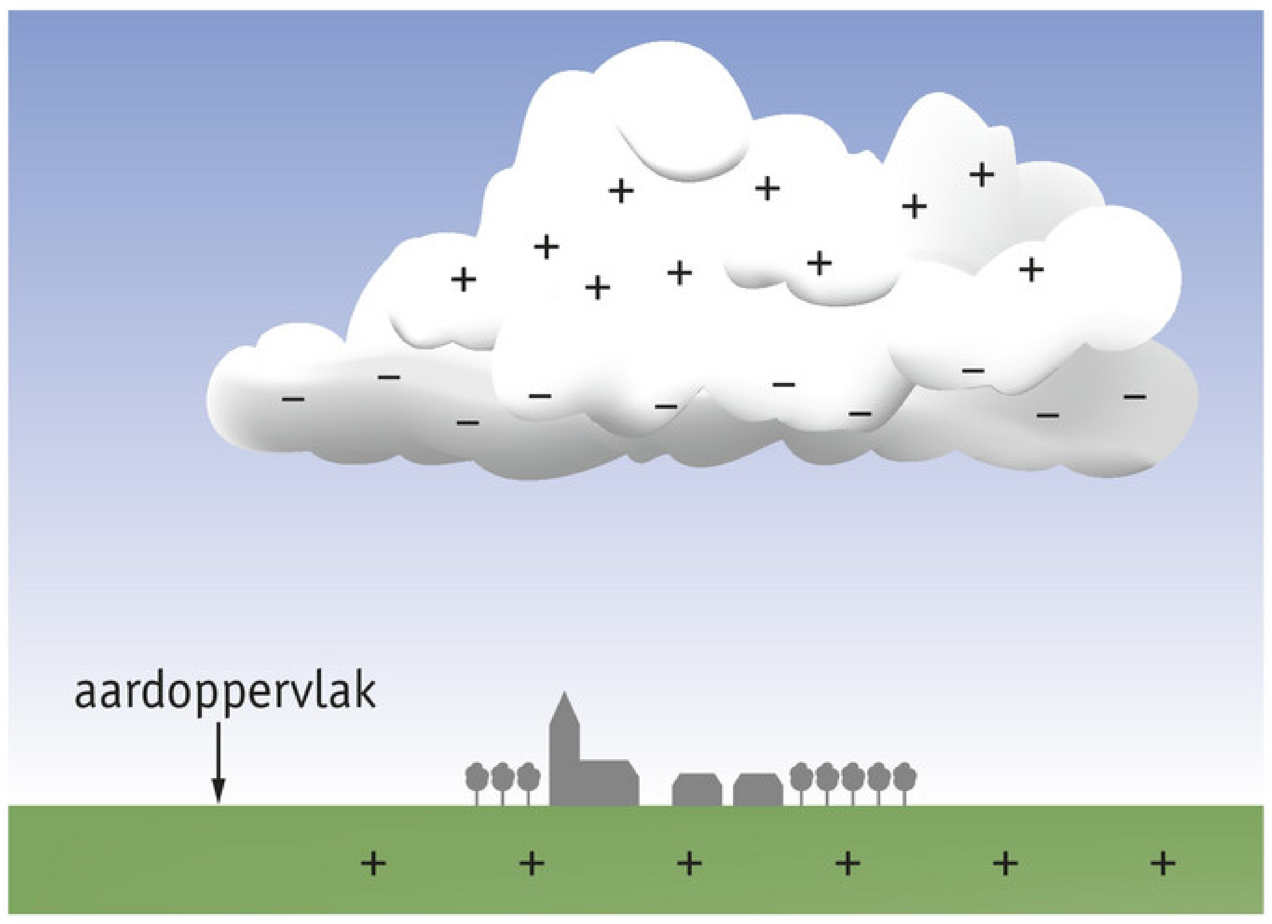
In toenemende mate kiezen bedrijven voor het poedercoaten als oppervlaktebehandeling. Daarbij komt dat met poedercoaten betere resultaten worden behaald dan met de conventionele methoden onder andere op gebied van dekking, afwerking en glans.
Het elektrostatische fenomeen middels het positief opladen van de poederlakdeeltjes zorgt ervoor dat alle randen en slecht bereikbare delen van poeder worden voorzien.

▲ **figuur 9**
het poedercoaten van metalen onderdelen

**7** Marijke verbindt de knop van een positief geladen elektroscoop A via een geleidende draad met een even sterk negatief geladen elektroscoop B.
- **a** Wat gebeurt er met de uitslag van beide elektroscopen?
- **b** Beschrijf wat er is gebeurd na het verbinden van beide elektroscopen.

**8** Ronald leest op de website van een bedrijf dat poedercoating steeds populairder wordt (figuur 9).
Leg uit:
- **a** waarom de onderdelen die van een coating worden voorzien, vooraf eerst negatief geladen worden.
- **b** waarom het belangrijk is dat elk poederdeeltje van de coating een positieve lading krijgt.
- **c** waarom je met poedercoating een betere dekking krijgt op 'moeilijke plekken' dan met gewone verf.

***9** Tussen de onderkant van een onweerswolk en de aarde bestaat een grote spanning.
- **a** De combinatie onweerswolk-aarde is geen geschikte spanningsbron voor praktische toepassingen.
  Noteer twee oorzaken waardoor dat zo is.
- **b** De bovenkant van de onweerswolk is positief geladen en de onderkant negatief (zie figuur 10).
  Leg uit waardoor het aardoppervlak onder de wolk positief geladen wordt.




▶ **figuur 10**
de verdeling van ladingen in een onweerswolk

## Plus Elektriseermachines

**10** De oorspronkelijke elektriseermachine van Van Marum kon een spanning van 300 000 V opwekken. Dat lukte alleen op heel droge dagen.
- **a** Leg uit waarom dat niet lukte bij vochtig weer.
- **b** Waarom kun je er slechts 'losse' vonken mee opwekken en geen continue grote stroom?

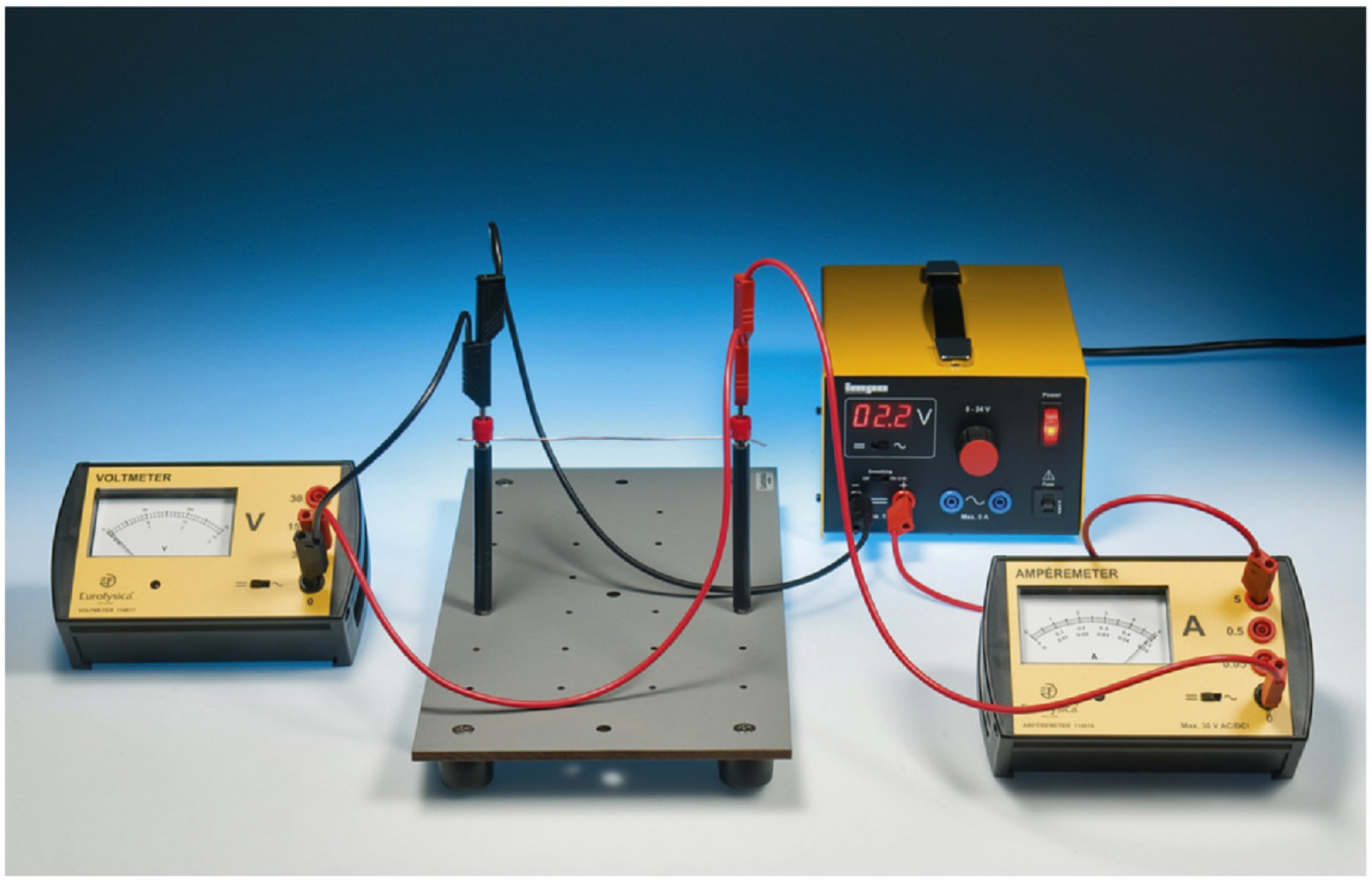
**11** Saskia wekt met een elektriseermachine een spanning op van 10 000 V. De bol van de elektriseermachine is positief geladen. Als ze in het donker met een vinger dicht bij de bol komt, voelt ze een schok en ziet ze een vonkje tussen haar vinger en de bol.
- **a** Leg uit hoe de elektronen zich tijdens die vonk hebben verplaatst.
- **b** Hoewel de spanning 10 000 V bedraagt, is het gevaar kleiner dan wanneer je een draad van de huisinstallatie aanraakt.
  Leg uit waardoor dat komt.

# 2 Weerstand

**Je hebt in huis allerlei apparaten die op de netspanning van 230 V werken. De hoeveelheid stroom die door die apparaten loopt, kan heel verschillend zijn: de stroomsterkte door een wasdroger is bijvoorbeeld veel groter dan de stroomsterkte door een elektrische wekker. Blijkbaar ondervindt de stroom elektronen in de wasdroger minder weerstand.**

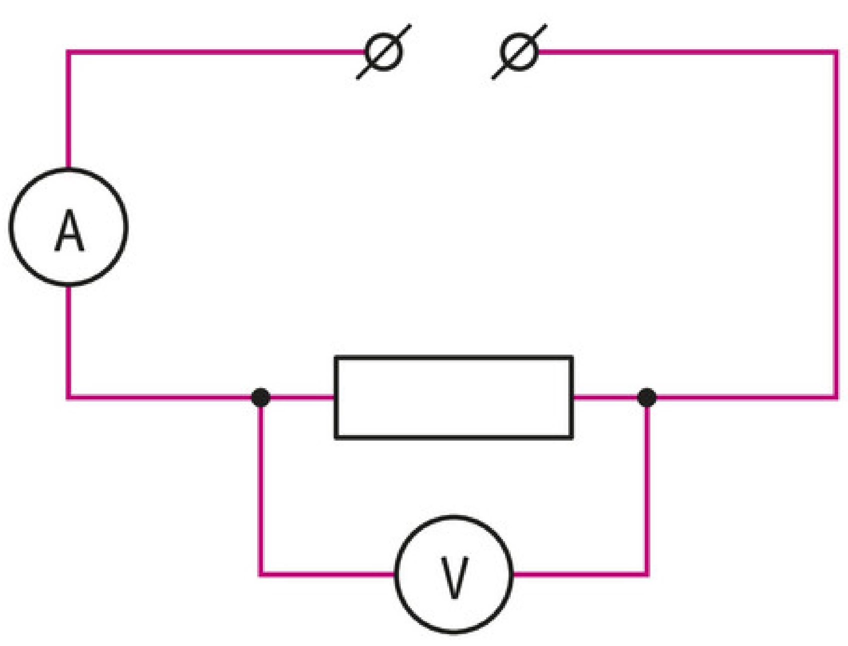
## De weerstand bepalen

Met de opstelling in figuur 11 kun je het verband meten tussen de spanning *over* een draad en de stroom *door* een draad. Met 'de spanning over een draad' wordt de spanning tussen de beide uiteinden van de draad bedoeld. In figuur 12 staat het schema van de schakeling.




▶ **figuur 11**
Zo bepaal je de weerstand van een draad.

Als je deze proef uitvoert met verschillende draden, merk je dat de verschillen groot zijn. Bij sommige draden is er een grote spanning nodig om een klein stroompje door de draad te 'persen'. Zo'n draad heeft een grote **weerstand**: de stroom gaat er moeilijk doorheen. Er zijn ook draden waarbij een kleine spanning al een flinke stroomsterkte oplevert. Zo'n draad heeft een kleine weerstand: de stroom gaat er gemakkelijk doorheen.




◀ **figuur 12**
het schakelschema voor de schakeling in figuur 11

Je kunt de weerstand van een schakelonderdeel dus definiëren met behulp van de spanning (over het onderdeel) en de stroomsterkte (door het onderdeel). Volgens die definitie is de weerstand gelijk aan de spanning gedeeld door de stroomsterkte. Zo vind je een bruikbare getalswaarde voor de weerstand. In formulevorm:

$$R = \frac{U}{I}$$

Als je de spanning $U$ invult in V en de stroomsterkte $I$ in A, vind je de weerstand $R$ in ohm (Ω). De eenheid voor weerstand is genoemd naar de Duitse natuurkundige Georg Simon Ohm.

***Voorbeeldopgave 1***
Op de verpakking van een ledlampje staat: 12 V/100 mA.
Bereken hoe groot de weerstand van het lampje is als het op de juiste spanning brandt.

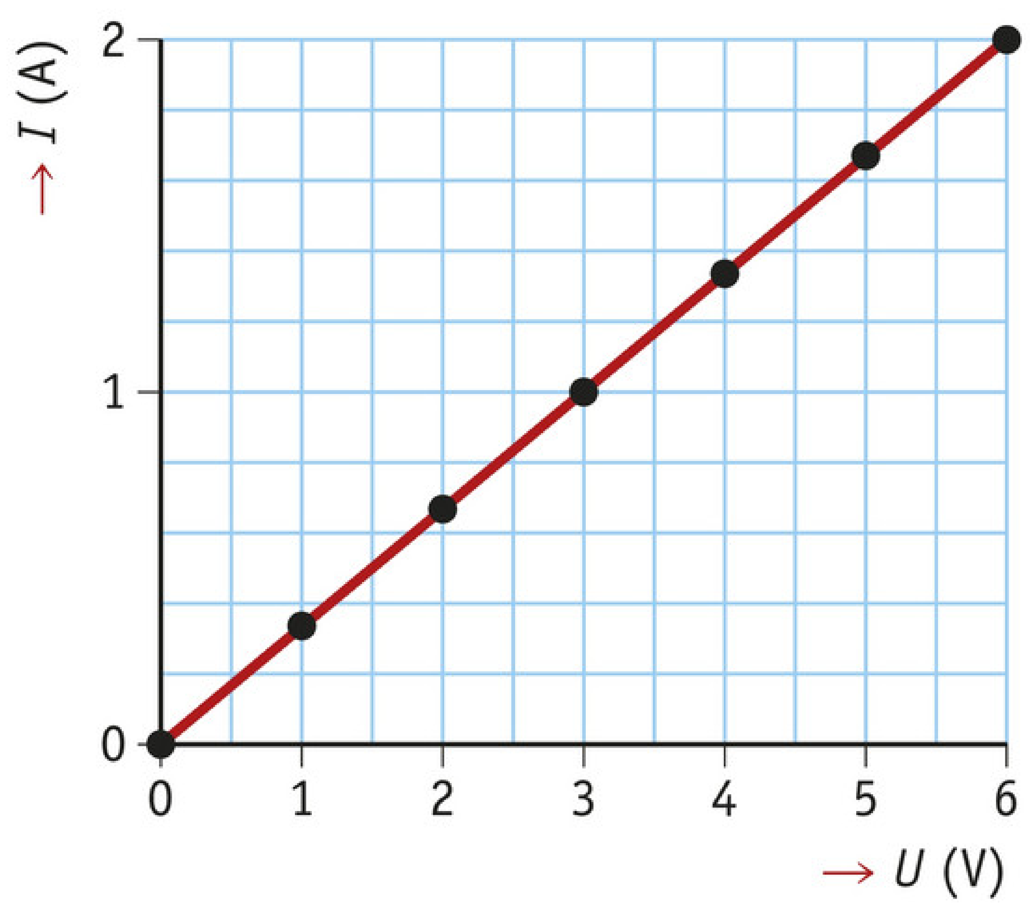
gegevens $U = 12$ V
$I = 100$ mA $= 0{,}100$ A

gevraagd $R = ?$

uitwerking $R = \frac{U}{I} = \frac{12}{0{,}100} = 1{,}2 \cdot 10^2\ \Omega$

## De wet van Ohm Proef 2

Je kunt de opstelling in figuur 12 gebruiken om een serie metingen te doen waarbij je de spanning steeds verder opvoert. In figuur 13 zijn de resultaten van zo'n proef getekend. Voor de proef is een draad gebruikt van het metaal constantaan (een legering van koper, nikkel en mangaan). In de grafiek is de stroomsterkte uitgezet tegen de spanning. Je noemt zo'n grafiek een **($I$,$U$)-diagram**.




▲ **figuur 13**
het ($I$,$U$)-diagram van een constantaandraad

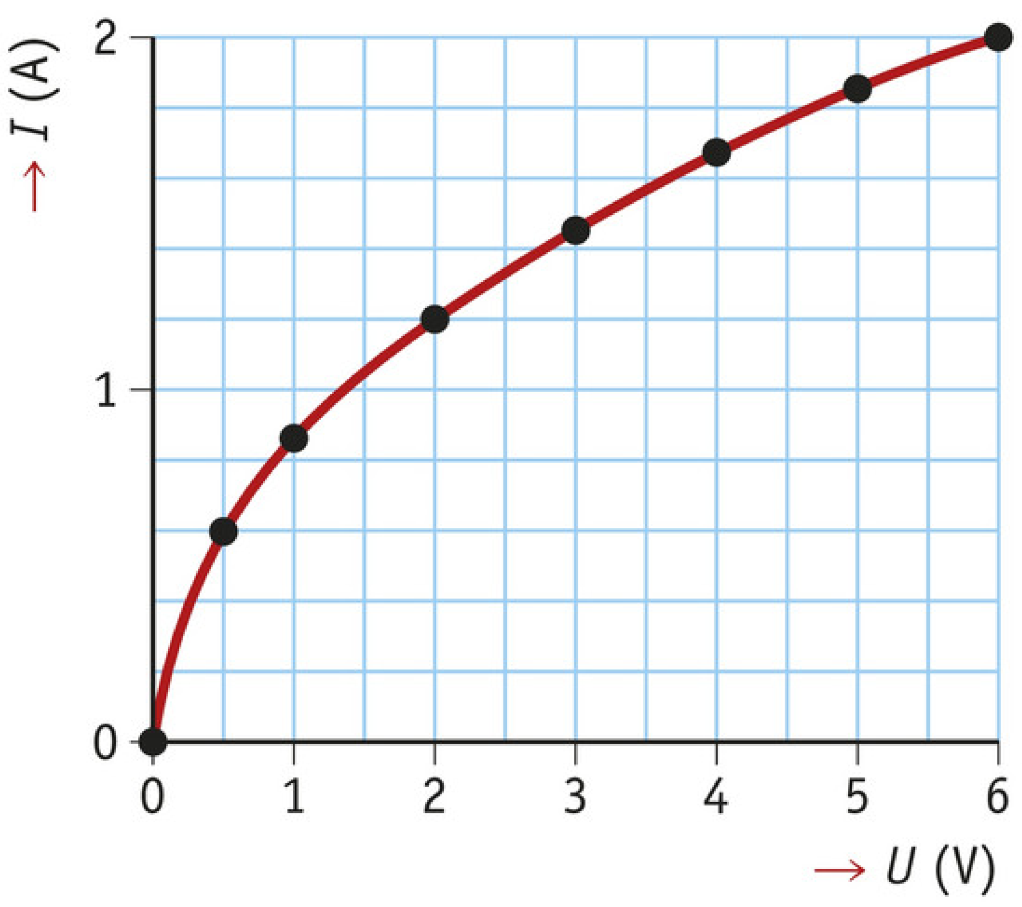
Je ziet:
- Als de spanning 2× zo groot wordt, wordt de stroomsterkte ook 2× zo groot.
- Als de spanning 3× zo groot wordt, wordt de stroomsterkte ook 3× zo groot.
- Enzovoort.

Met andere woorden:

De spanning (over de draad) en de stroomsterkte (door de draad) zijn recht evenredig.

Deze regel wordt de **wet van Ohm** genoemd.

Uit de wet van Ohm volgt dat de weerstand van de draad een constante waarde heeft: als je de spanning $U$ deelt door de stroomsterkte $I$, komt daar steeds hetzelfde getal uit.



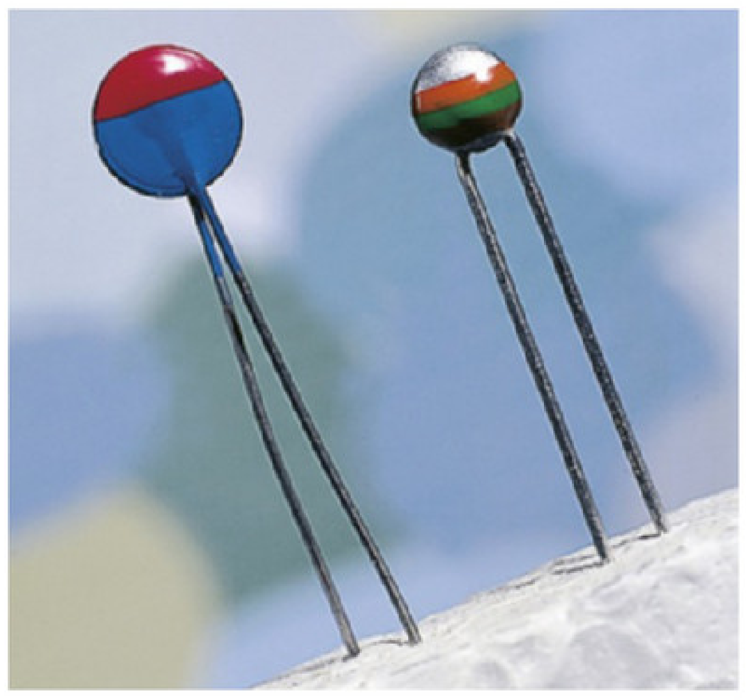

▲ figuur 14
het ($I$,$U$)-diagram van een gloeilampje

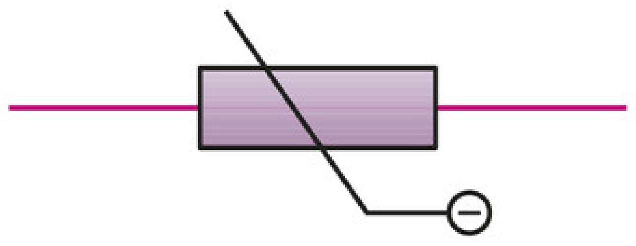
## Weerstand en temperatuur Proef 3

Als je het verband tussen de spanning en de stroomsterkte meet bij een gloeilampje, krijg je een afwijkend resultaat. Dat zie je in het ($I$,$U$)-diagram in figuur 14. De spanning en de stroomsterkte zijn nu niet recht evenredig: als de spanning 2× zo groot wordt, blijft de stroomsterkte daar duidelijk bij achter. In dit geval geldt de wet van Ohm dus niet.

De oorzaak voor deze afwijking is de hoge temperatuur van de gloeidraad. Als de spanning over de gloeidraad toeneemt, gaat het lampje steeds feller branden. De temperatuur van de gloeidraad stijgt daarbij sterk, tot wel 2500 °C. Bij zo'n hoge temperatuur neemt de weerstand van de gloeidraad flink toe.

Bijna alle soorten draden krijgen een grotere weerstand, als hun temperatuur stijgt. Draden van constantaan vormen een uitzondering: hun weerstand is constant, ook als ze veel heter worden. Toch kun je er ook bij andere draden vaak van uitgaan dat hun weerstand constant is. Zolang de temperatuurstijging beperkt blijft – en dat is in de praktijk meestal het geval –, kun je de toename van de weerstand verwaarlozen.





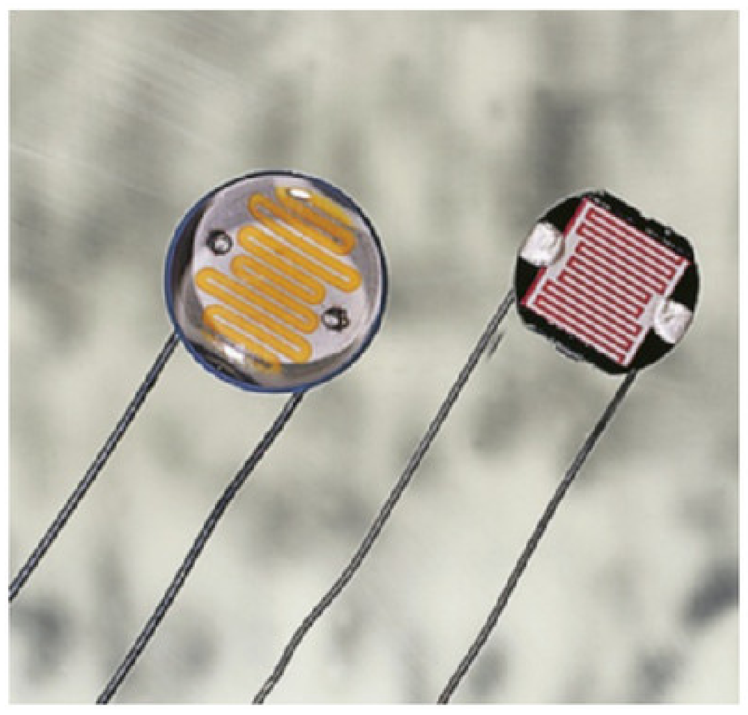

▲ figuur 15
enkele NTC's met daaronder het schakelsymbool

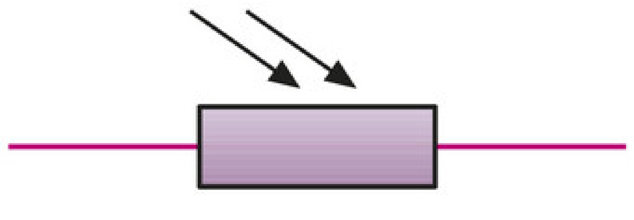
## NTC en LDR

In schakelingen worden soms onderdelen gebruikt met een veranderlijke weerstand. Twee voorbeelden daarvan zijn de **NTC** en de **LDR**.

- Een NTC (figuur 15) is gevoelig voor veranderingen in temperatuur. Als de temperatuur van een NTC stijgt, daalt zijn weerstand. De NTC gaat dan beter geleiden en laat meer stroom door.
- Een LDR (figuur 16) is gevoelig voor veranderingen in de hoeveelheid licht. Als er meer licht op een LDR valt, daalt zijn weerstand. De LDR gaat dan beter geleiden en laat meer stroom door.

Deze variabele weerstanden worden veel gebruikt in automatische schakelingen: de NTC als temperatuursensor, de LDR als lichtsensor.






▲ figuur 16
enkele LDR's met daaronder het schakelsymbool

## Plus De weerstand van je lichaam

Als je een geleider aanraakt waar spanning op staat, zoekt de stroom zich via je lichaam een weg naar de aarde (figuur 17). Hoe groot de stroomsterkte daarbij wordt, hangt af van de spanning en van de weerstand die de stroom onderweg ondervindt. Die weerstand is de optelsom van de lichaamsweerstand en de contactweerstand.



### Jongetje bijna geëlektrocuteerd

Haarlem – Een zevenjarig jongetje uit Haarlem is vrijdagmiddag zwaar gewond geraakt toen hij aan de bovenleiding van een spoorlijn ging hangen. Het jongetje, dat samen met zijn vijfjarig broertje op het spoorwegemplacement in Haarlem boven op het dak van een hoge goederenwagon was geklommen, sprong naar de hoogspanningsdraad. Daarbij kwam hij tegelijk met de bovenleiding en met de wagon in aanraking en kreeg hij een stroomstoot door zich heen. Hij is met ernstige brandwonden opgenomen in het ziekenhuis.

Het menselijk lichaam is een vrij goede geleider van elektrische stroom. De lichaamsweerstand is daardoor niet erg groot: ergens tussen 100 en 500 Ω. De stroom ondervindt veel meer weerstand op de plaatsen waar het lichaam contact maakt met de geleider en de aarde. De contactweerstand kan meer dan 100 kΩ zijn, wanneer de huid goed droog is.

Als de huid nat is, daalt de contactweerstand sterk, tot maar 1000 Ω: 100× zo klein als bij een droge huid. Het vocht zorgt voor een veel beter contact tussen het lichaam en de geleider of de aarde. Doordat de weerstand daalt, stijgt de stroomsterkte en daarmee het risico op ongelukken. In de badkamer moet je daarom erg voorzichtig zijn met elektriciteit.

◀ **figuur 17**
Hoogspanning is levensgevaarlijk.

**opgaven** **Leerstof**

**12** Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Met welke formule kun je de weerstand van een schakelonderdeel berekenen?
- **b** Wat zegt de wet van Ohm over het verband tussen spanning en stroomsterkte?
- **c** Welke bijzondere eigenschap hebben draden die van constantaan gemaakt zijn?
- **d** Hoe komt het dat de wet van Ohm niet geldt voor de draad in een gloeilampje?
- **e** Van welk schakelonderdeel daalt de weerstand, als de temperatuur ervan stijgt?

**13** Neem tabel 1 over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 1** enkele grootheden en eenheden

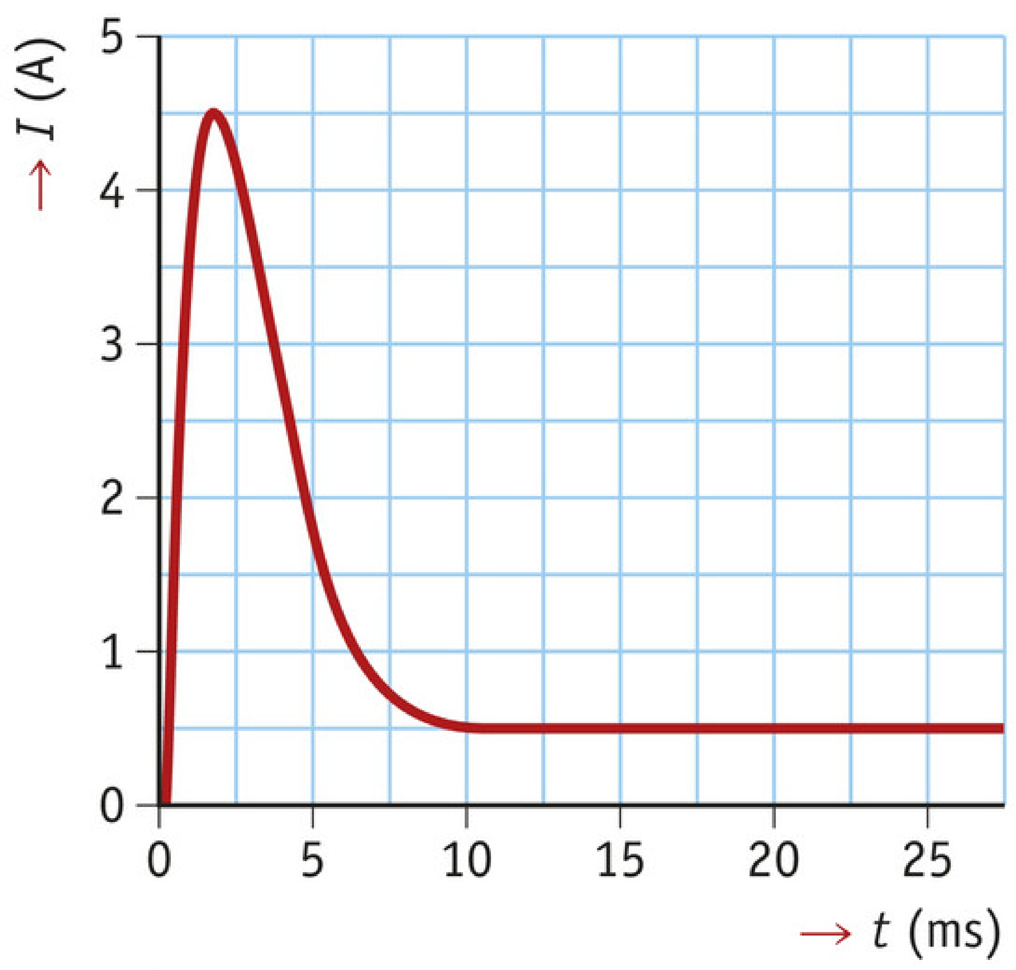
| grootheid | symbool | eenheid | symbool |
|---|---|---|---|
| spanning | | | |
| | $I$ | | |
| | | ohm | |

## Toepassing

**14** Bij deze opgave heb je werkblad 6-2 nodig.
Alie wil de weerstand van een fietslampje bepalen. Op het werkblad zie je welke spullen ze daarvoor heeft klaargezet.
- **a** Maak de schakeling af door de ontbrekende snoeren in te tekenen.
- **b** Teken daarna in het tekenvak het bijbehorende schakelschema.
- **c** Alie bouwt de schakeling en voert de proef uit. Op de spanningsmeter leest ze een spanning af van 6,0 V en op de stroommeter een stroomsterkte van 0,23 A.
  Bereken uit deze gegevens de weerstand van het lampje.

**15** Een mixer, een lamp en een waterkoker zijn aangesloten op het lichtnet (230 V).
- Door de mixer loopt een stroom van 1,4 A.
- Door de lamp loopt een stroom van 48 mA.
- Door de waterkoker loopt een stroom van 9,6 A.

Bereken de weerstand van elk apparaat.




▲ **figuur 18**
de grafiek van de proef van Peter

**16** Bij een proef laat Peter een fietslampje branden op een batterij (4,5 V). Om de stroom te meten, gebruikt hij een meetopstelling met een stroomsensor, een interface en een computer. Na afloop van de proef laat hij de computer een grafiek tekenen van de eerste 25 ms na het inschakelen van de stroom (figuur 18).
- **a** Waaraan kun je zien dat de weerstand van de gloeidraad niet constant is?
- **b** Wat is de maximale waarde die de stroomsterkte bereikt?
- **c** Bereken hoe groot de weerstand van de gloeidraad op dat moment is.
- **d** Hoe komt het dat de stroomsterkte daarna sterk afneemt?
- **e** Na hoeveel tijd bereikt de stroomsterkte een constante waarde?
- **f** Bereken hoe groot de weerstand van de gloeidraad dan is.

**17** Lars heeft een constantaandraad van 6,0 Ω aangesloten op een voedingskastje. Hij meet een stroomsterkte van 0,25 A.
- **a** Bereken welke spanning Lars op het voedingskastje heeft ingesteld.
- **b** Lars draait aan de regelknop van het voedingskastje tot de stroommeter 0,75 A aangeeft.
  Beredeneer hoe groot de spanning nu is.
- **c** Controleer je antwoord op b met een berekening.

**18** Anke heeft een gloeilampje laten branden op verschillende spanningen. Elke keer heeft ze de stroomsterkte gemeten. Haar meetresultaten staan in tabel 2.

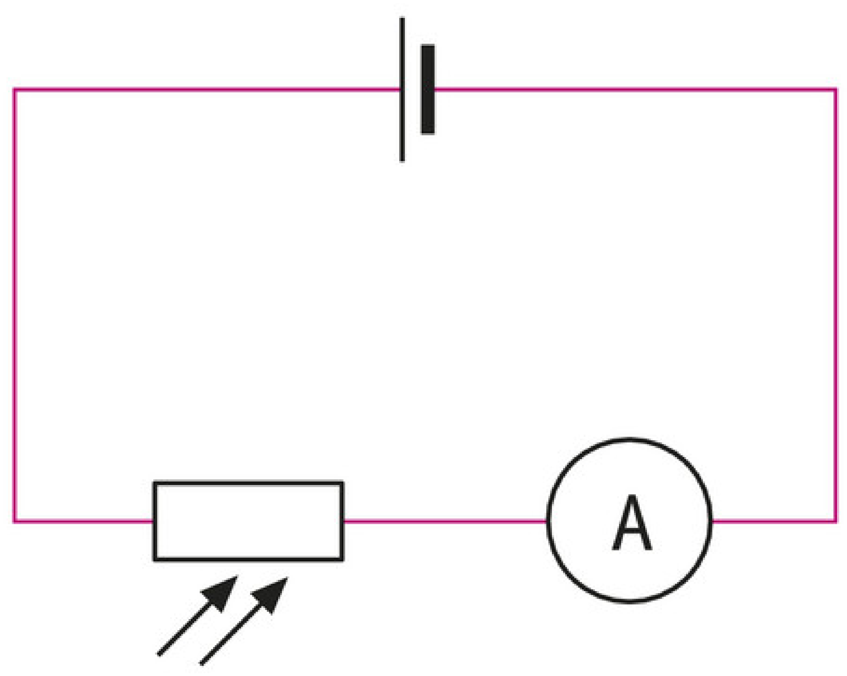
- **a** Verwerk Ankes meetresultaten tot een ($I$,$U$)-diagram.
- **b** De weerstand van het lampje verandert als het lampje feller gaat branden.
  Hoe kun je dat aan de grafiek zien?
- **c** Leg aan de hand van het verloop van de grafiek uit of de weerstand bij feller branden toeneemt of afneemt.
- **d** Bereken hoe groot de weerstand van het lampje is bij een spanning van 7,0 V.
- **e** Leg aan de hand van de grafiek uit of voor dit lampje de wet van Ohm geldt.

▼ **tabel 2** de meetresultaten van Anke

| spanning (V) | stroomsterkte (A) |
|---|---|
| 2,0 | 0,18 |
| 4,0 | 0,26 |
| 6,0 | 0,32 |
| 8,0 | 0,37 |
| 10,0 | 0,41 |
| 12,0 | 0,44 |

**19** Tijdens een practicum bouwt Rik een eenvoudige lichtsterktemeter (figuur 19). De batterij van de meter levert een spanning van 3,0 V.

- **a** Als Rik de LDR in de felle zon houdt, is de stroomsterkte 0,22 A.
  Bereken hoe groot de weerstand van de LDR dan is.
- **b** Zes uur later is de stroomsterkte nog maar 0,1 mA.
  Bereken hoe groot de weerstand van de LDR dan is.
- **c** Hoe kan de weerstand van de LDR in zes uur zoveel groter zijn geworden?



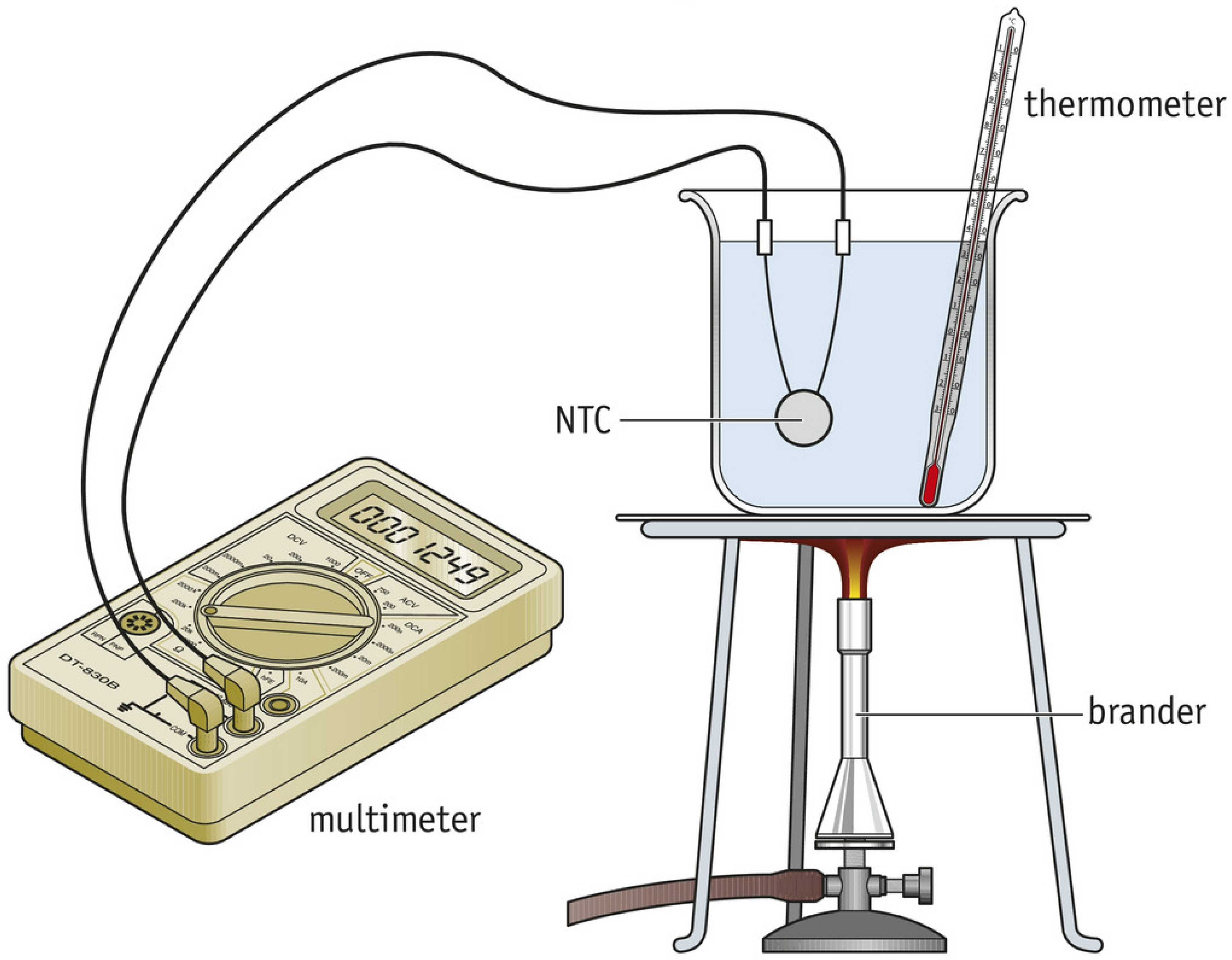

▲ **figuur 19**
het schakelschema van Riks lichtsterktemeter

***20** Bij deze opgave heb je werkblad 6-3 nodig.
Joanne voert de proef uit die in figuur 20 getekend is. Op de thermometer leest ze de temperatuur van het water af. Met de multimeter meet ze de weerstand van de NTC. In tabel 3 zie je haar meetresultaten.

- **a** Teken op het werkblad een grafiek van Joannes meetresultaten.
- **b** Lees uit deze grafiek af hoe hoog de temperatuur is:
  - als de multimeter 605 Ω aangeeft.
  - als de multimeter 154 Ω aangeeft.
  - als de multimeter 79 Ω aangeeft.

▼ **tabel 3** de meetresultaten van Joanne

| temperatuur (°C) | weerstand (Ω) |
|---|---|
| 20 | 1249 |
| 30 | 785 |
| 40 | 511 |
| 50 | 341 |
| 60 | 255 |
| 70 | 176 |
| 80 | 129 |
| 90 | 96 |
| 100 | 72 |




▶ **figuur 20**
de proefopstelling van Joanne

## Plus De weerstand van je lichaam

***21** Als je een koperdraad aanraakt waar 230 V op staat, krijg je een schok.

**a** Bereken hoe groot de contactweerstand bij benadering is:
- bij een lichte, ongevaarlijke schok ($I$ = 10 mA).
- bij een flinke, niet ongevaarlijke schok ($I$ = 100 mA).
- bij een heel zware, levensgevaarlijke schok ($I$ = 1 A).

**b** Leg uit met je antwoorden op a waarom er strenge veiligheidsregels gelden voor de elektrische installatie in een badkamer.

**22** Zoek op internet informatie over de leugendetector (figuur 21).

**a** Op welke manier meet een leugendetector de weerstand van de huid?

**b** Hoe verandert de huidweerstand als de proefpersoon begint te zweten?

**c** Hoe komt het dat zweet een veel betere geleider is dan zuiver water?

**d** Wat meet een leugendetector nog meer behalve de huidweerstand?

**e** Waarom is het gebruik van de leugendetector 'nogal omstreden'?

### Leugendetector

De weerstand van de huid hangt af van de vochtigheid van de huid. Van deze eigenschap wordt gebruikgemaakt bij de zogenoemde leugendetector. Dit is een apparaat waarmee men kan controleren of een verdachte liegt bij een ondervraging. Psychologen gaan ervan uit dat mensen meer zweten als ze liegen dan wanneer ze de waarheid spreken. Dus een snelle verandering van de huidweerstand bij de beantwoording van een vraag wijst erop dat de verdachte liegt. De methode wordt vooral in de Verenigde Staten gebruikt en is nogal omstreden.



▲ **figuur 21**
meten met een leugendetector

# 3 Werken met weerstanden

**In computers en televisies kom je ingewikkelde schakelingen tegen, met honderden onderdelen. Een ontwerper van zo'n schakeling kijkt altijd zorgvuldig naar de weerstand van die onderdelen en voegt zo nodig extra weerstand toe. Anders kan de stroomsterkte ergens in de schakeling te groot worden, en kunnen er onderdelen door oververhitting kapotgaan.**

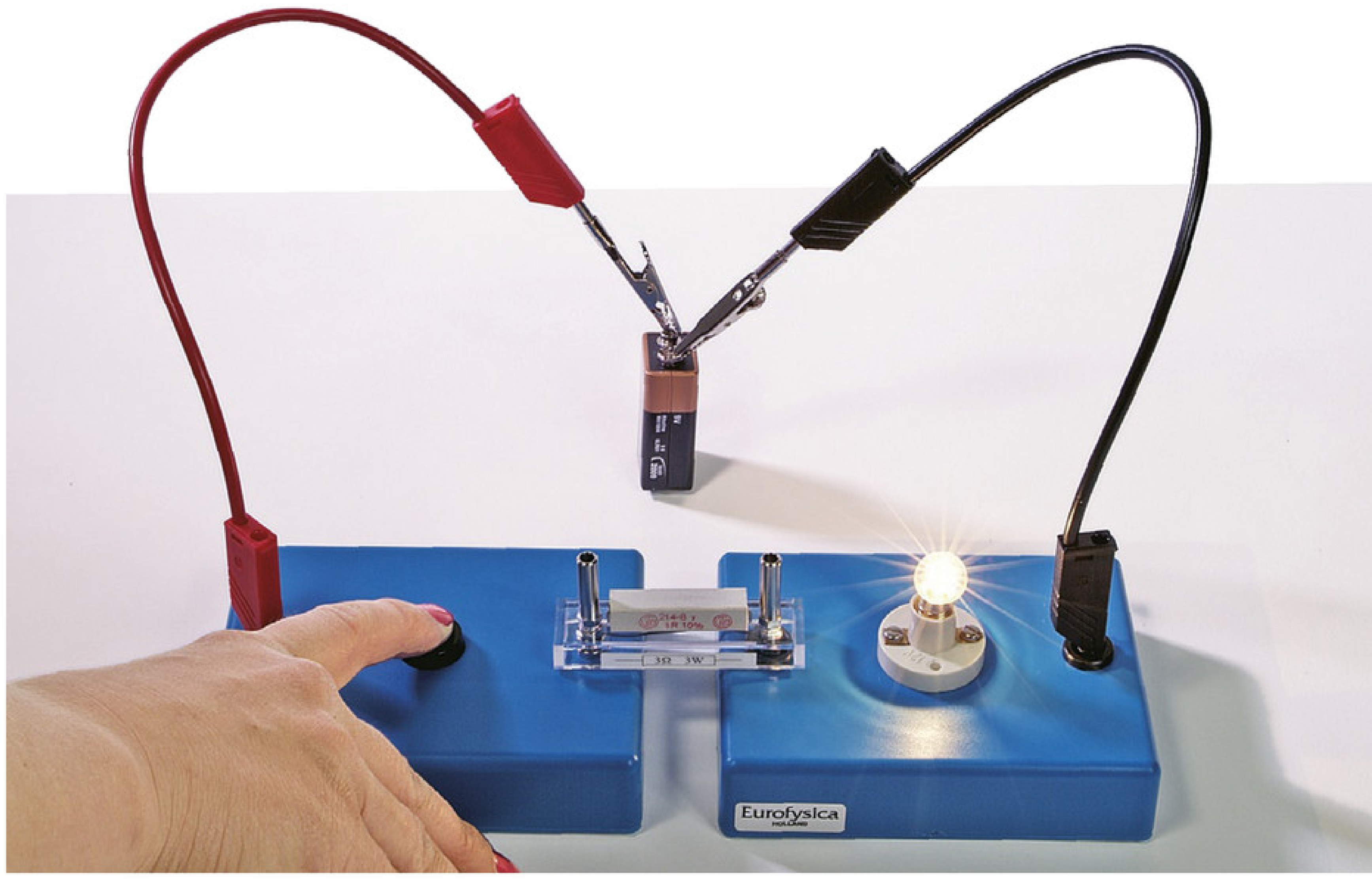
## De weerstand vergroten

Het lampje in figuur 22 is aangesloten op een spanning van 6 V. Dit is de spanning waarvoor dit lampje is ontworpen. Bij deze spanning heeft de stroomsterkte door het lampje precies de juiste waarde.

Je kunt het lampje niet zomaar aansluiten op een batterij van 9 V. De weerstand van het lampje is te klein voor deze spanning. Als je het lampje toch rechtstreeks op 9 V aansluit, wordt de stroomsterkte te groot: het lampje brandt door.




▲ **figuur 22**
Het lampje brandt op de juiste spanning.




▲ **figuur 23**
De weerstand voorkomt dat het lampje doorbrandt.

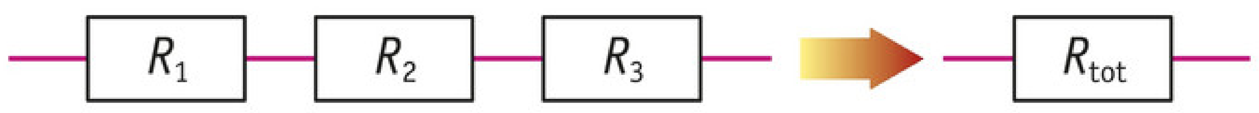
Misschien wil je toch een batterij van 9 V gebruiken, bijvoorbeeld omdat je geen andere batterij hebt. Dat kan wel, maar dan moet je eerst de totale weerstand groter maken. Daarvoor heb je een schakelonderdeel nodig dat voor dit doel de juiste weerstand heeft. Zo'n onderdeel wordt (ook) een **weerstand** genoemd.

Als je een geschikte weerstand hebt gevonden, schakel je hem in serie met het lampje (figuur 23). Daardoor wordt de totale weerstand van de stroomkring groter. Zo kun je de stroomsterkte verkleinen tot een waarde waarbij het lampje niet doorbrandt.

## Weerstanden in serie Proef 4

Als je steeds meer weerstanden in serie schakelt, krijgt de schakeling in zijn geheel een steeds grotere weerstand. Bij een gelijkblijvende spanning zal de stroomsterkte steeds verder afnemen. Je kunt de totale weerstand $R_{tot}$ berekenen door de afzonderlijke weerstanden bij elkaar op te tellen (figuur 24):

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$




▲ **figuur 24**
Weerstanden in serie tel je op.

Als je de afzonderlijke weerstanden vervangt door één weerstand met de waarde van $R_{tot}$, maakt dat voor de rest van de schakeling niets uit. De totale weerstand wordt daarom ook wel de **vervangingsweerstand** genoemd.

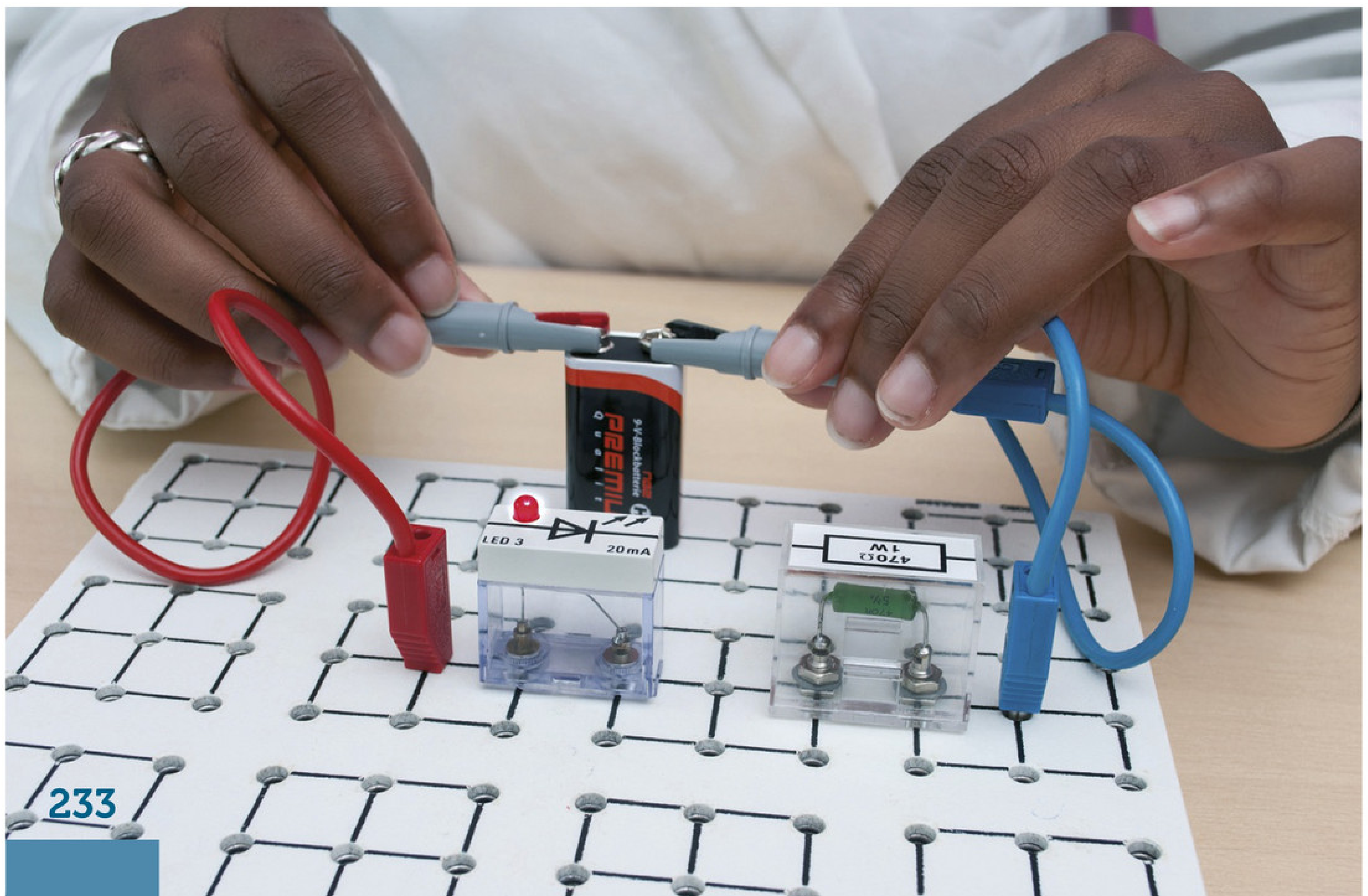
## Stroomsterkte en spanning in een serieschakeling

De stroomsterkte $I$ is in een serieschakeling overal even groot. Er zijn geen vertakkingen waarover de stroom zich moet verdelen. De spanning verdeelt zich in een serieschakeling over de verschillende schakelonderdelen. Als je twee identieke lampjes in serie schakelt en aansluit op een batterij van 9,0 V, brandt elk lampje op 4,5 V: ze krijgen elk de helft van de bronspanning.

Als de twee lampjes een verschillende weerstand hebben, wordt de bronspanning $U_{tot}$ niet precies in tweeën verdeeld. Over lampje 1 staat dan een spanning $U_1 = I \cdot R_1$ en over lampje 2 een spanning $U_2 = I \cdot R_2$. Bij elkaar opgeteld zijn $U_1$ en $U_2$ gelijk aan de bronspanning: $U_{tot} = U_1 + U_2$. Staan er meer dan twee weerstanden in serie, dan geldt:

$$U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Vaak worden weerstanden gebruikt om andere schakelonderdelen op de juiste spanning te laten werken. In figuur 25 zie je een voorbeeld. Omdat de spanning van de batterij te hoog is voor het ledlampje, wordt het in serie geschakeld met een weerstand. Een deel van de spanning komt daardoor over de weerstand te staan. De overblijvende spanning is precies hoog genoeg om het ledlampje goed te laten branden.




▶ **figuur 25**
Een led wordt in serie geschakeld met een voorschakelweerstand.

***Voorbeeldopgave 2***
Het ledlampje in figuur 25 brandt optimaal op een spanning van 2,0 V. Door het lampje loopt dan een stroom van 20 mA. De batterij levert een spanning van 9,0 V.
Bereken hoe groot de waarde van de weerstand moet zijn om het lampje op de juiste spanning te laten branden.

gegevens
$U_1 = 2{,}0$ V
$U_{tot} = 9{,}0$ V
$I = 20$ mA $= 0{,}020$ A

gevraagd
$R_2 = ?$

uitwerking
$U_{tot} = U_1 + U_2$
$9{,}0 = 2{,}0 + U_2$
$U_2 = 7{,}0$ V

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{7{,}0}{0{,}020} = 3{,}5 \cdot 10^2\ \Omega$$

## Weerstanden parallel Proef 5

Als je steeds meer weerstanden parallel aansluit, wordt de totale weerstand van de schakeling niet groter – zoals bij een serieschakeling – maar juist kleiner. Doordat het aantal vertakkingen toeneemt, kan de stroom gemakkelijker rondlopen. Bij een gelijkblijvende spanning neemt de stroomsterkte dus steeds verder toe.

Je kunt schakelonderdelen daarom niet onbeperkt parallel schakelen. De aan- en afvoerleidingen zouden anders al snel overbelast raken. Om overbelasting te voorkomen, wordt een elektrische installatie verdeeld in groepen met elk een beperkt aantal schakelonderdelen. Dat geldt voor de huisinstallatie, maar ook voor de lichtinstallatie tijdens een groot concert (figuur 26).

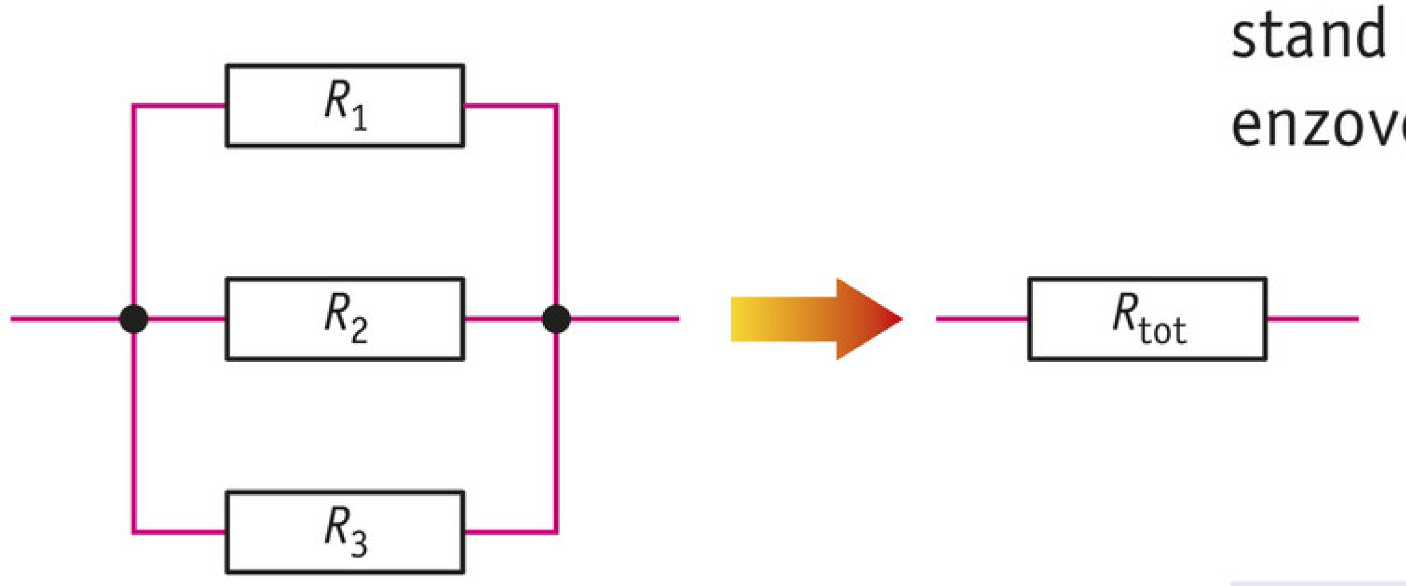


▶ **figuur 26**
Een lichtinstallatie is, net als een huisinstallatie, verdeeld in groepen.

Je kunt de totale weerstand $R_{tot}$ van een parallelschakeling berekenen met de formule (figuur 27):

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

Uit deze formule volgt dat de totale weerstand (ook wel vervangingsweerstand genoemd) altijd kleiner is dan de afzonderlijke weerstanden ($R_1$, $R_2$, enzovoort).




▲ **figuur 27**
De totale weerstand wordt kleiner als de weerstanden parallel geschakeld zijn.

***Voorbeeldopgave 3***
Esther schakelt een weerstand van 55 Ω parallel aan een weerstand van 145 Ω.
Bereken de vervangingsweerstand.

gegevens $R_1 = 55\ \Omega$
$R_2 = 145\ \Omega$

gevraagd $R_{tot} = \ldots$

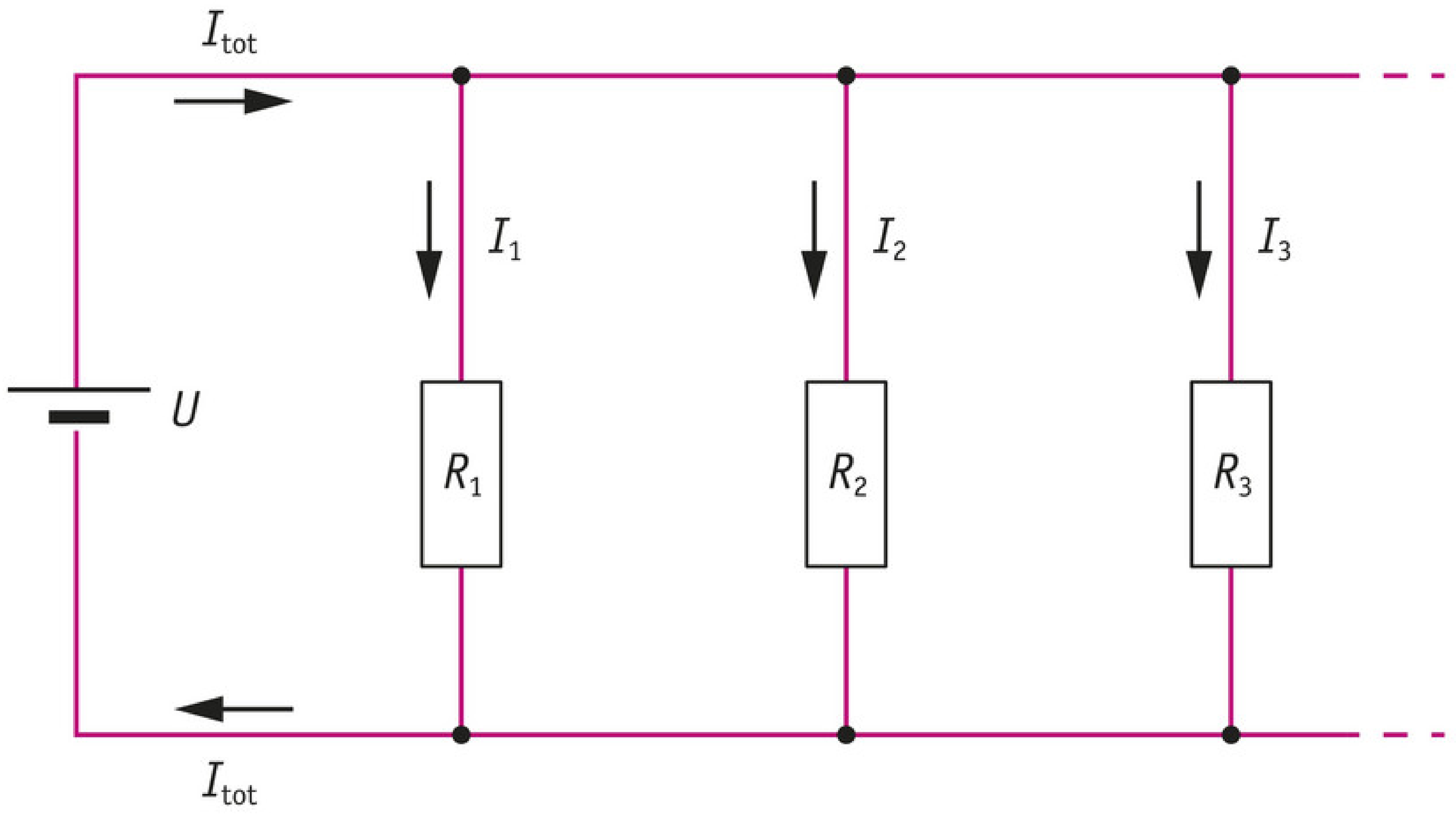
uitwerking $\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{55} + \frac{1}{145}$

$R_{tot} \approx 40\ \Omega$

## Stroomsterkte en spanning in een parallelschakeling

In een parallelschakeling is elk schakelonderdeel rechtstreeks met de spanningsbron verbonden. Over elk onderdeel staat de volledige bronspanning $U$. De stroom verdeelt zich bij een parallelschakeling over de verschillende vertakkingen. Door elke vertakking 1, 2, 3, … loopt een stroomsterkte $I_1$, $I_2$, $I_3$, … (figuur 28). Je kunt de totale stroomsterkte berekenen met de formule:

▼ **figuur 28**
Bij een parallelschakeling verdeelt de stroom zich.




$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots$$

De totale stroomsterkte is de stroomsterkte in het niet vertakte gedeelte: de aan- en afvoerleidingen waar alle stroom doorheen moet. Hier bestaat risico op overbelasting als er te veel schakelonderdelen tegelijk worden aangesloten.

***Voorbeeldopgave 4***
Bereken de totale stroomsterkte in de schakeling uit voorbeeldopgave 3.

gegevens
$R_1 = 55\ \Omega$
$R_2 = 145\ \Omega$
$U = 9{,}0\ \text{V}$

gevraagd
$I_{tot} = \ldots$

uitwerking

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{9{,}0}{55} = 0{,}16363..\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{9{,}0}{145} = 0{,}06206..\ \text{A}$$

$$I_{tot} = I_1 + I_2 = 0{,}16363.. + 0{,}06206..$$
$$I_{tot} \approx 0{,}23\ \text{A}$$

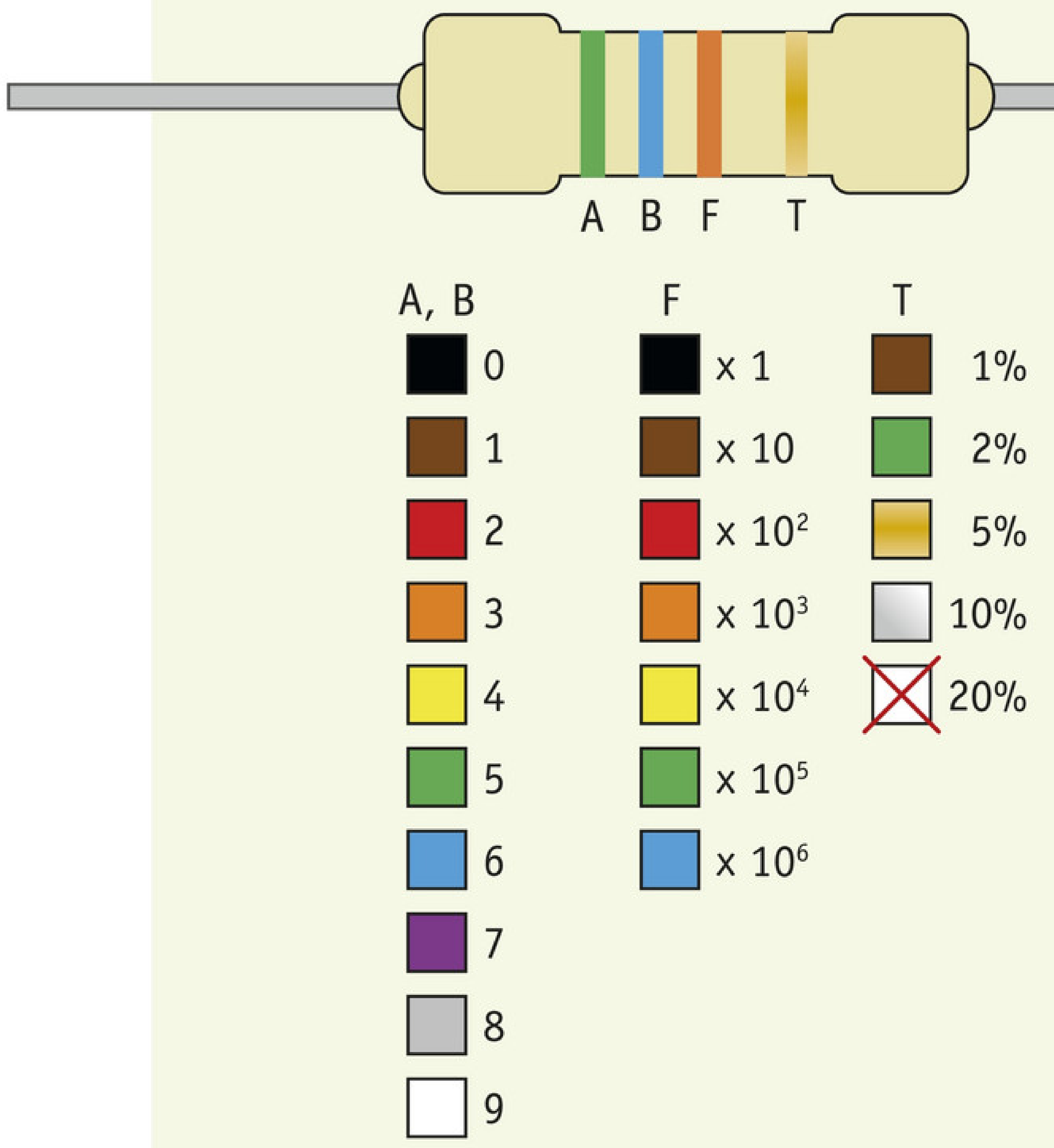
Je krijgt dezelfde uitkomst als je de bronspanning deelt door de totale weerstand:

$$I_{tot} = \frac{U}{R_{tot}} = \frac{9{,}0}{40} \approx 0{,}23\ \text{A}$$

## Plus De kleurcode op weerstanden

In de elektronica worden kleine weerstandjes gebruikt. Je komt ze in allerlei schakelingen tegen. Deze weerstandjes worden gemaakt door een dun laagje koolstof op een glasstaafje aan te brengen. Hoe dunner het laagje koolstof is, des te groter is de weerstand.

Op elk weerstandje zijn vier of vijf gekleurde ringen aangebracht. In figuur 29 kun je de betekenis van de verschillende kleuren opzoeken voor een weerstand met vier ringen. Bij het aflezen moet ring T (de afwijkings-ring) zich aan de rechterkant van het weerstandje bevinden.




**◄ figuur 29**
de betekenis van de kleurcodering op elektronicaweerstanden

***Voorbeeldopgave 5***
Bekijk het weerstandje in figuur 29.
Ga na hoe groot zijn weerstand is.

ring A is groen → 5
ring B is blauw → 6
ring F is oranje → $\times 10^3$
ring T is goud → ± 5%

De weerstand is dus $56 \cdot 10^3\ \Omega = 56\ k\Omega$, met een maximale afwijking van 5%.

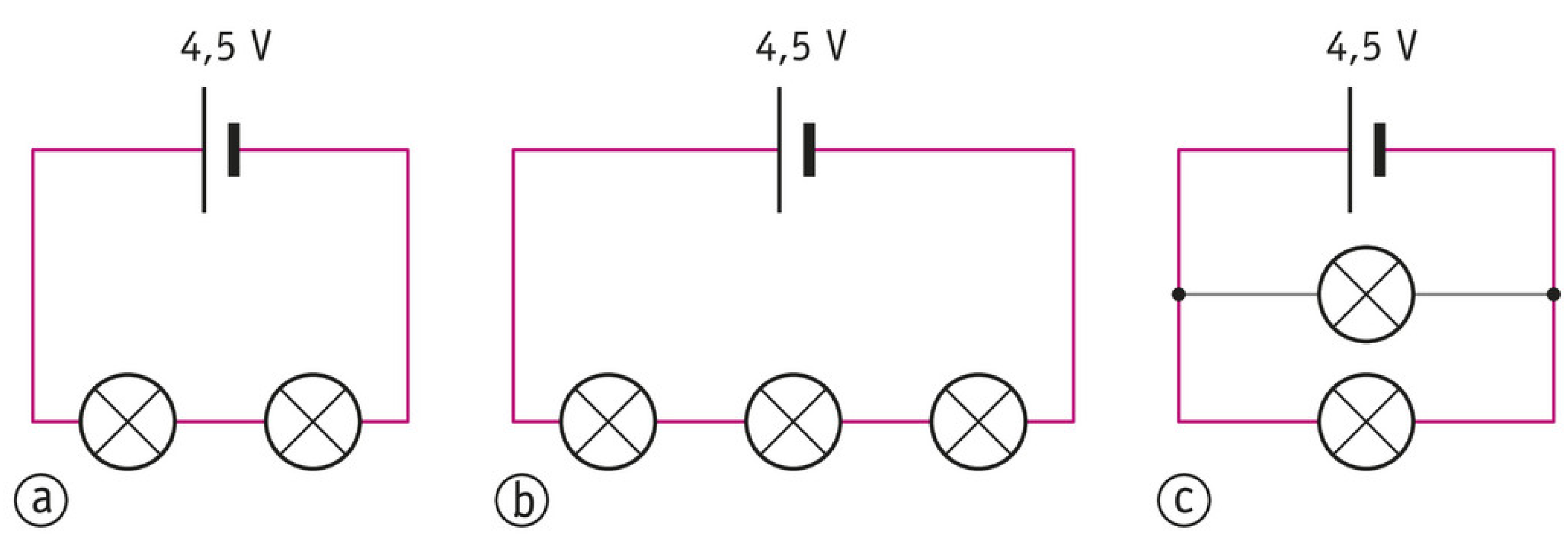
## opgaven Leerstof

**23** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe kun je een lampje dat ontworpen is voor een spanning van 6 V, toch veilig aansluiten op een batterij van 9 V?
- **b** Hoe verandert de totale weerstand van een serieschakeling, als je het aantal weerstanden steeds groter maakt?
- **c** Waarom wordt de totale weerstand van een aantal weerstanden ook wel 'de vervangingsweerstand' genoemd?
- **d** Met welke formule kun je de vervangingsweerstand berekenen van drie parallel geschakelde weerstanden?

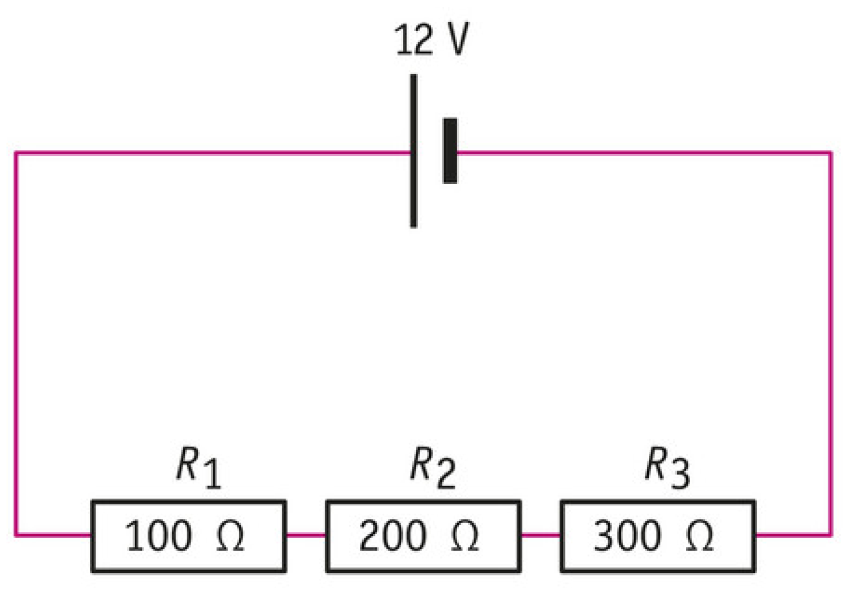
**24** In welk soort schakeling:
- **a** is de stroomsterkte overal in de schakeling even groot?
- **b** splitst de stroom zich bij elke vertakking in de schakeling?
- **c** staat de volledige bronspanning over elk schakelonderdeel?
- **d** verdeelt de spanning zich over de diverse schakelonderdelen?

## Toepassing

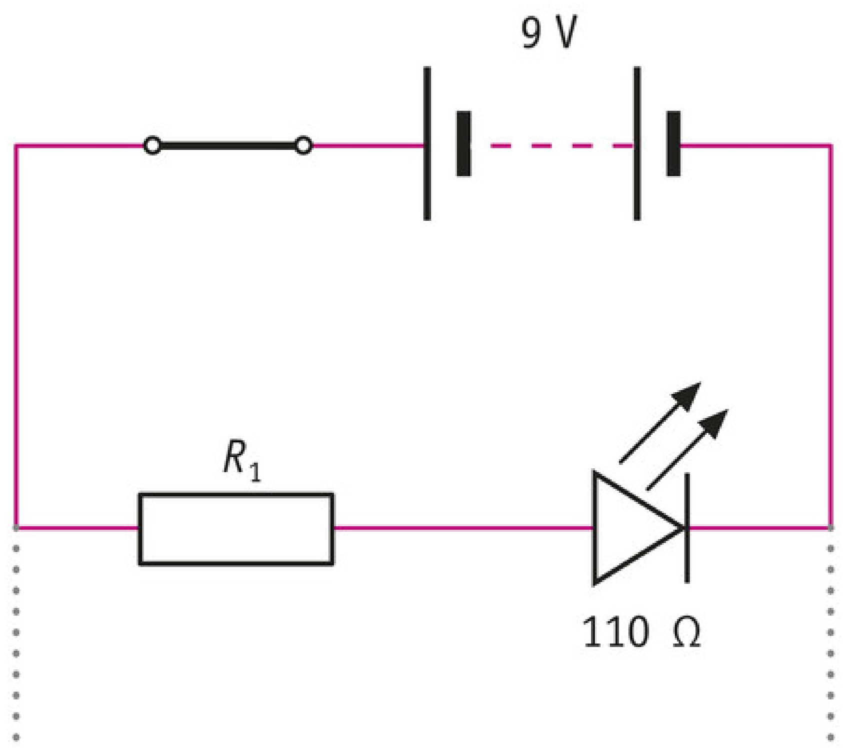
**25** Alle lampjes in de schakelingen van figuur 30 zijn gelijk.
- **a** In welke schakeling is de (totale) weerstand het kleinst?
- **b** In welke schakeling is de (totale) stroomsterkte het kleinst?
- **c** In welke schakeling branden de lampjes het felst?




▲ **figuur 30**
drie schakelingen met lampjes




▲ **figuur 31**
een serieschakeling




▲ **figuur 32**
een led met een voorschakelweerstand

**26** Bekijk de serieschakeling die in figuur 31 getekend is.
**a** Bereken de totale weerstand.
**b** Bereken de stroomsterkte.

**27** Een kerstboomverlichting bestaat uit 23 in serie geschakelde gloeilampjes. Op elk lampje staat: 10 V/0,3 A. Als het geheel wordt aangesloten op 230 V, brandt elk lampje op de juiste spanning.
**a** Bereken de weerstand van één lampje.
**b** Bereken de totale weerstand van alle lampjes samen als ze normaal branden.
**c** Controleer met je antwoord op b of de stroomsterkte door deze serieschakeling inderdaad 0,3 A is.

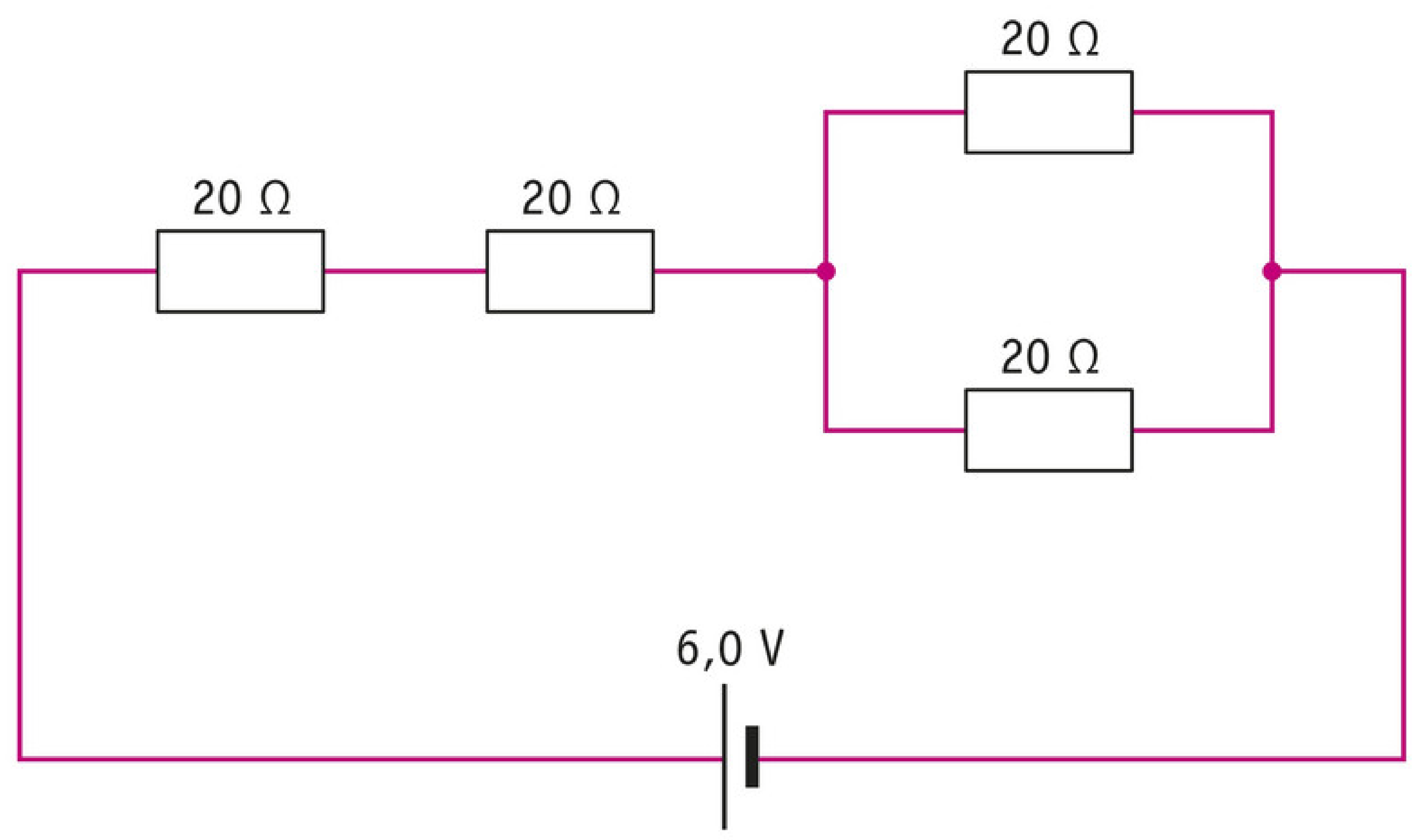
**28** Een zendermicrofoon werkt op een batterij van 9 V. Als je de spanning inschakelt, gaat er een led branden. Zie figuur 32. De voorschakelweerstand $R_1$ zorgt ervoor dat de led niet doorbrandt. Als het batterij 9,0 V levert, is de stroomsterkte door de led 18 mA.
**a** Bereken de totale weerstand van de schakeling.
**b** Bereken de waarde van weerstand $R_1$.

**29** De lampjes van een fietsverlichting zijn parallel geschakeld. De dynamo geeft een spanning van 6,0 V. Het voorlicht heeft een weerstand van 20 Ω. Het achterlicht heeft een weerstand van 120 Ω.
**a** Bereken de vervangingsweerstand van deze parallelschakeling.
**b** Bereken de totale stroomsterkte.

**30** In een kookplaat van een elektrisch fornuis zitten twee verwarmings-elementen, $R_1$ en $R_2$. $R_1$ heeft een weerstand van 65 Ω, $R_2$ heeft een weerstand van 35 Ω. De kookplaat is aangesloten op het lichtnet (230 V).
Bereken de totale stroomsterkte door de kookplaat:
**a** wanneer $R_1$ en $R_2$ in serie geschakeld zijn.
**b** wanneer alleen $R_1$ is ingeschakeld.
**c** wanneer alleen $R_2$ is ingeschakeld.
**d** wanneer $R_1$ en $R_2$ parallel geschakeld zijn.

***31** Een weerstand van 60 Ω, een van 40 Ω en een onbekende weerstand $R_3$ worden parallel geschakeld. De totale weerstand van deze schakeling is 15 Ω.
Bereken de waarde van $R_3$.

***32** Guusje heeft vier identieke weerstandjes van 20 ohm. Ze maakt daarmee de combinatie van figuur 33 en sluit deze aan op een spanning van 6,0 V.
**a** Bereken de totale stroomsterkte.
**b** Wat is de grootste en wat is de kleinste totale weerstand, die je met deze vier weerstanden kunt maken?




▶ **figuur 33**
de weerstandscombinatie van Guusje

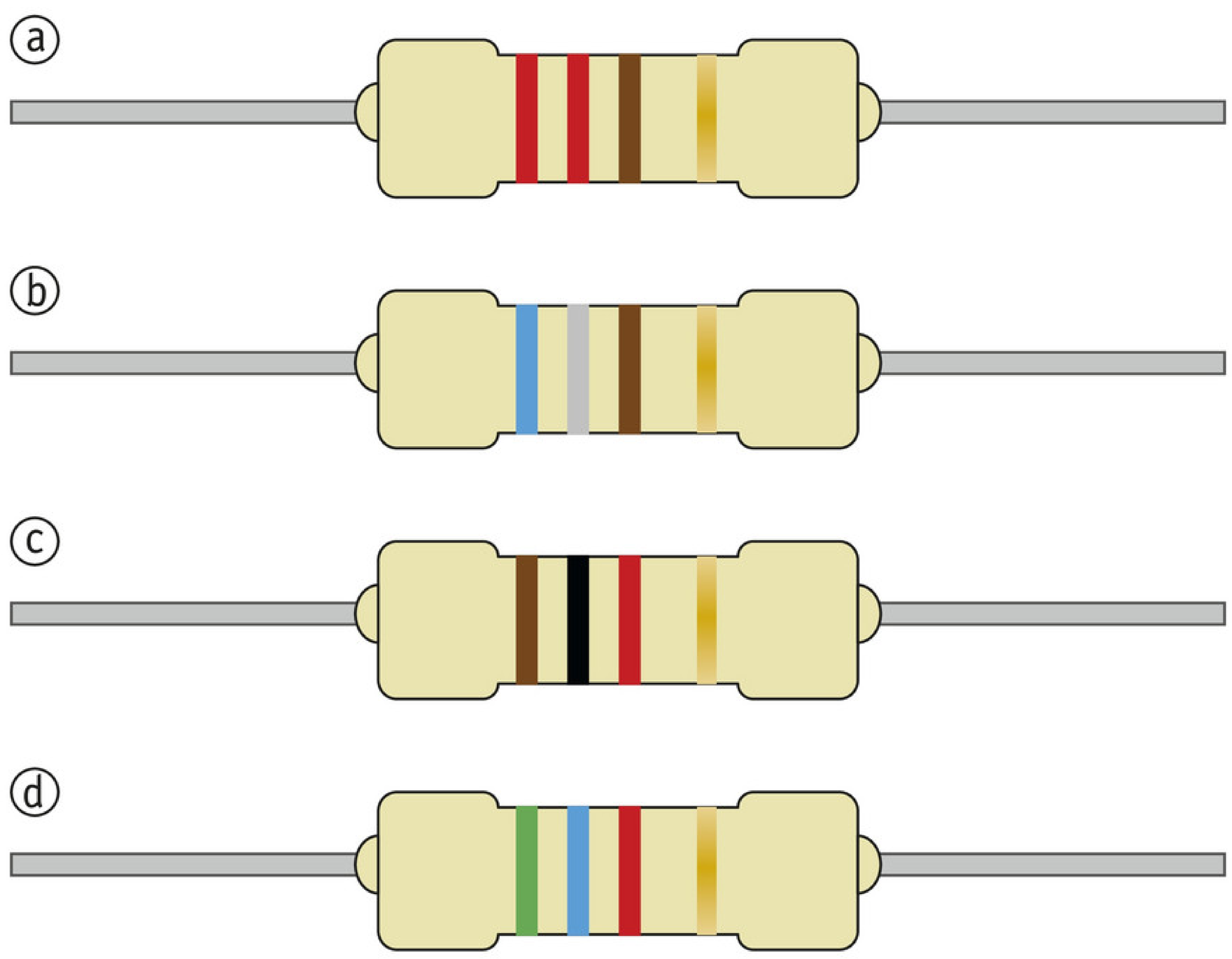
## Plus De kleurcode op weerstanden

**33** Tijdens een practicum kan Rudy gebruikmaken van vier verschillende weerstandjes (figuur 34).

**a** Noteer hoe groot de weerstand van elk weerstandje is.

**b** Hoe kan Rudy, door twee weerstandjes te combineren:
- een (totale) weerstand maken van 900 Ω?
- een (totale) weerstand maken van 1,7 kΩ?

**c** Rudy heeft voor een schakeling een (totale) weerstand nodig van ongeveer 1900 Ω.
Met welke weerstandjes uit figuur 34 kan Rudy deze weerstand maken?




▶ **figuur 34**
de vier weerstandjes van Rudy

***34** Wilma en Theo willen een schakeling bouwen met een led. De led geeft optimaal licht bij een stroomsterkte van 19 mA. De weerstand van de led is dan 80 Ω. Verder hebben Wilma en Theo de beschikking over:
- een batterij van 4,5 V;
- drie weerstandjes met kleurcode oranje-oranje-bruin-goud;
- een weerstandje met kleurcode geel-violet-zwart-goud.

**a** Bereken de waarden van de beschikbare weerstandjes met behulp van de gegeven kleurcodes.

**b** Bereken de grootte van de voorschakelweerstand die Wilma en Theo in de schakeling moeten opnemen.

**c** Geef in een tekening weer op welke manier Wilma en Theo de weerstandjes moeten combineren om de led optimaal te laten werken.

# 4 Automatische schakelingen



▲ **figuur 35**
De schakeling in een rookmelder reageert al op een kleine hoeveelheid rook.

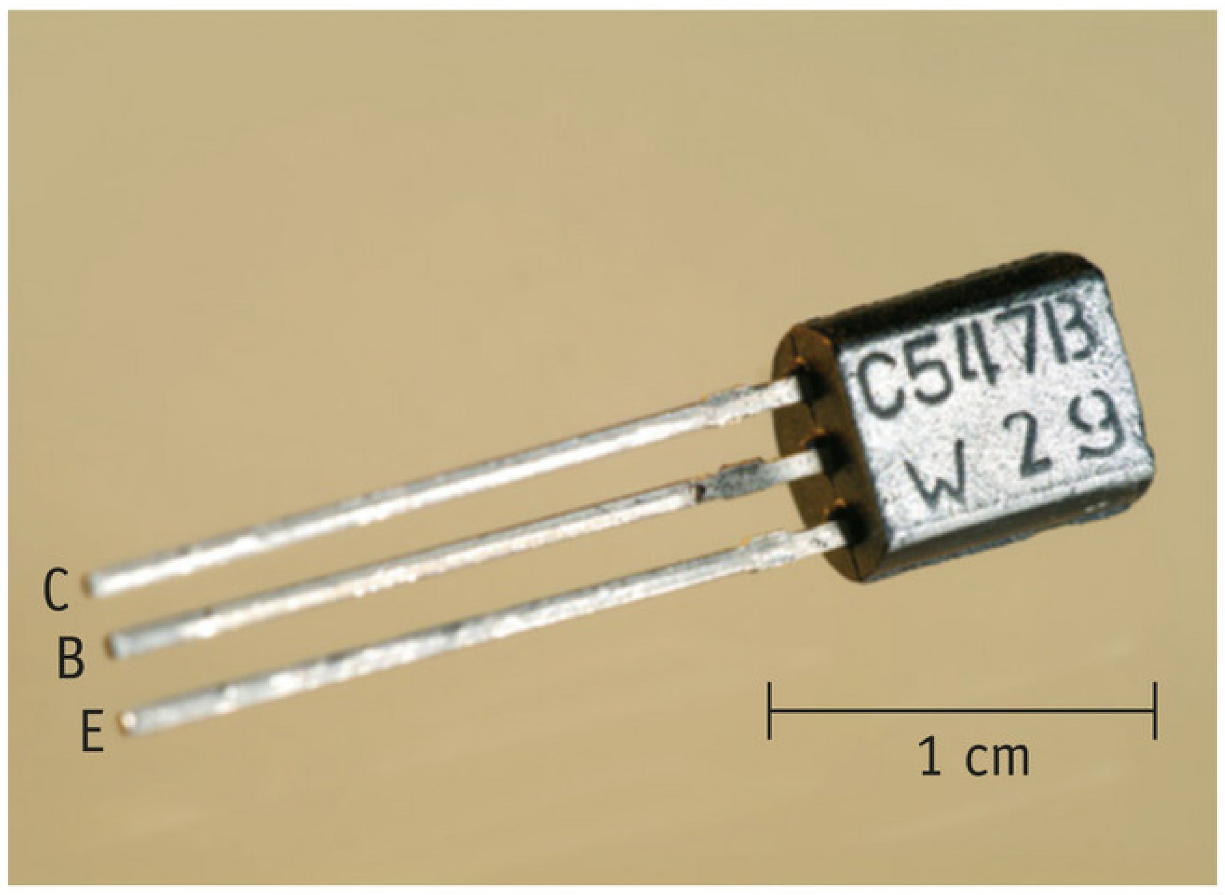
**Veel auto's hebben tegenwoordig een inbraakalarm. Als een autodief probeert de deuren te forceren, begint een sirene te loeien en gaan de knipperlichten aan. Vaak activeert zo'n alarm ook een startonderbreking en blokkeert het de brandstofvoorziening. Dit is allemaal mogelijk dankzij schakelingen die het gevaar waarnemen en daarop reageren.**

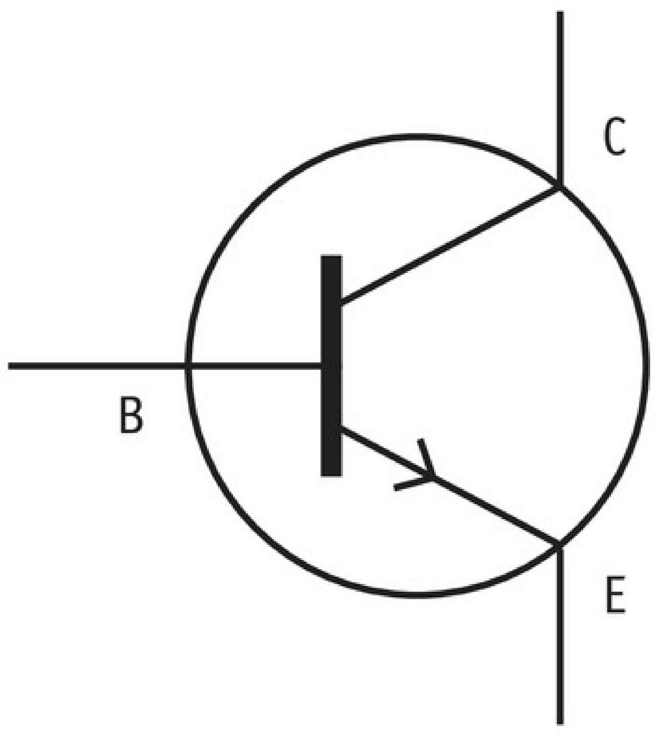
## Sensor – schakelaar – actuator

Veel mensen hebben een buitenlamp die vanzelf aan- en uitgaat. Zo'n lamp wordt bediend door een automatische schakeling die uit drie delen bestaat: een **sensor**, een **schakelaar** en een **actuator**.

Elk onderdeel van de schakeling heeft zijn eigen functie:
- De sensor produceert een elektrisch signaal dat informatie geeft over de omgeving. Zo 'vertelt' hij de schakeling of er in de omgeving iets verandert.
- De schakelaar reageert op de informatie van de sensor. Als het signaal van de sensor daar aanleiding voor geeft, schakelt hij de stroom in of juist uit.
- De actuator doet iets wat op dat moment nuttig of prettig is: een lamp gaat branden, een sirene begint te loeien, een motor slaat aan, enzovoort (figuur 35).

In sommige buitenlampen zit een sensor die reageert op de hoeveelheid licht. Als het donker wordt, verandert het signaal van de sensor. Een schakelaar in de lamp schakelt dan de lamp in. Er zijn ook buitenlampen die aangaan als er iemand voorbij komt. In zo'n lamp wordt een infrarooddetector als sensor gebruikt. Deze sensor reageert op de infrarode straling die door mensen en dieren wordt uitgezonden.



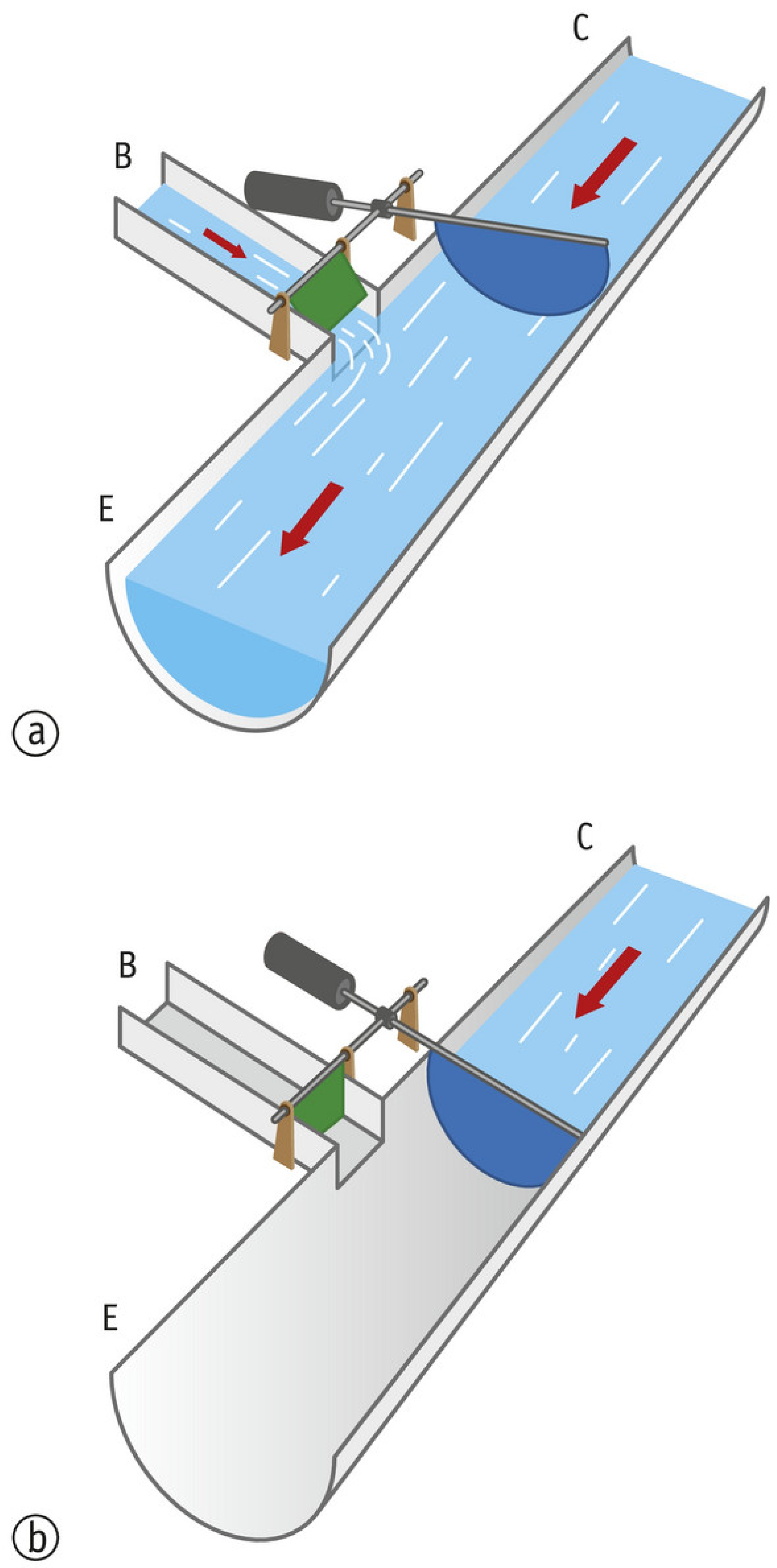




▲ **figuur 36**
een transistor met daaronder het bijbehorende schakelsymbool

## De werking van een transistor Proef 6

In veel automatische schakelingen wordt de actuator aan- en uitgezet door een **transistor**. Zo'n transistor functioneert in dat geval als een automatische schakelaar. Zoals je in figuur 36 kunt zien, heeft een transistor drie aansluitpunten:
- de **collector** (C)
- de **basis** (B)
- de **emitter** (E)

Je kunt de werking van een transistor vergelijken met die van een slagboom. Zoals een slagboom het verkeer op een weg doorlaat of juist tegenhoudt, zo doet een transistor dat met de stroom naar een apparaat.




▲ **figuur 37**
een schematische weergave van een transistor in de AAN- en de UIT-stand

In de AAN-stand laat de transistor de stroom door, in de UIT-stand houdt hij de stroom tegen:
- De transistor staat in de AAN-stand als er een kleine stroom loopt van de basis (B) naar de emitter (E). Er kan dan een veel grotere stroom lopen van de collector (C) naar de emitter (figuur 37a).
- De transistor staat in de UIT-stand als er geen of maar heel weinig stroom van de basis naar de emitter loopt. Er kan dan geen stroom lopen van de collector naar de emitter (figuur 37b).

Je gebruikt dus een klein 'schakelstroompje' (via B naar E) om een veel grotere 'apparaatstroom' (via C naar E) in en uit te schakelen. Een transistor kan gemakkelijk kapotgaan, als deze stromen te groot worden. Daarom worden in schakelingen met transistors vaak ook een of meer weerstanden opgenomen. Deze werken dan als stroombegrenzer.

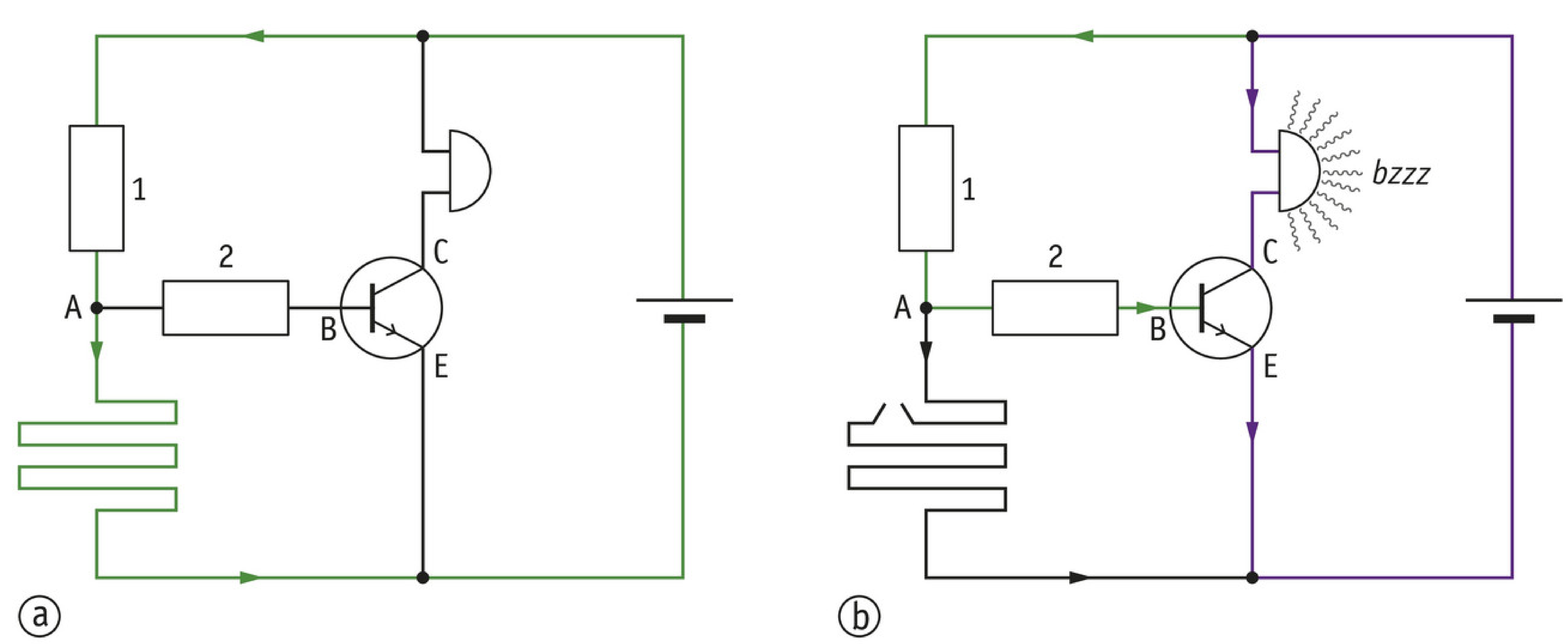
## Een inbraakalarm

In figuur 38 zie je een inbraakalarm met een draad op een ruit. In deze schakeling wordt een draad op de ruit als sensor gebruikt. Je ziet dat de stroom zich bij A in tweeën splitst (figuur 38a). Het grootste deel (meer dan 99,9%) loopt via de draad op de ruit terug naar de batterij. Door de basis (die een veel grotere weerstand heeft) loopt nauwelijks stroom.

De grootte van de schakelstroom via de basis is het signaal waarop de transistor reageert. Zolang de draad heel blijft, is die schakelstroom heel klein en blijft de transistor in de UIT-stand staan. Er loopt dan geen stroom van C naar E. De zoemer staat uit. De weerstanden 1 en 2 zorgen ervoor dat de stromen die er wel lopen, zo klein mogelijk blijven.

In figuur 38b heeft iemand de ruit ingeslagen en is de draad op de ruit kapotgegaan. De stroom kan nu alleen via de basis teruglopen naar de batterij. De schakelstroom van B naar E neemt hierdoor sterk toe. De transistor reageert op dit signaal door naar de AAN-stand te schakelen. Er kan nu een flinke stroom van C naar E lopen: de zoemer gaat aan.

▶ **figuur 38**
een alarminstallatie met een transistor

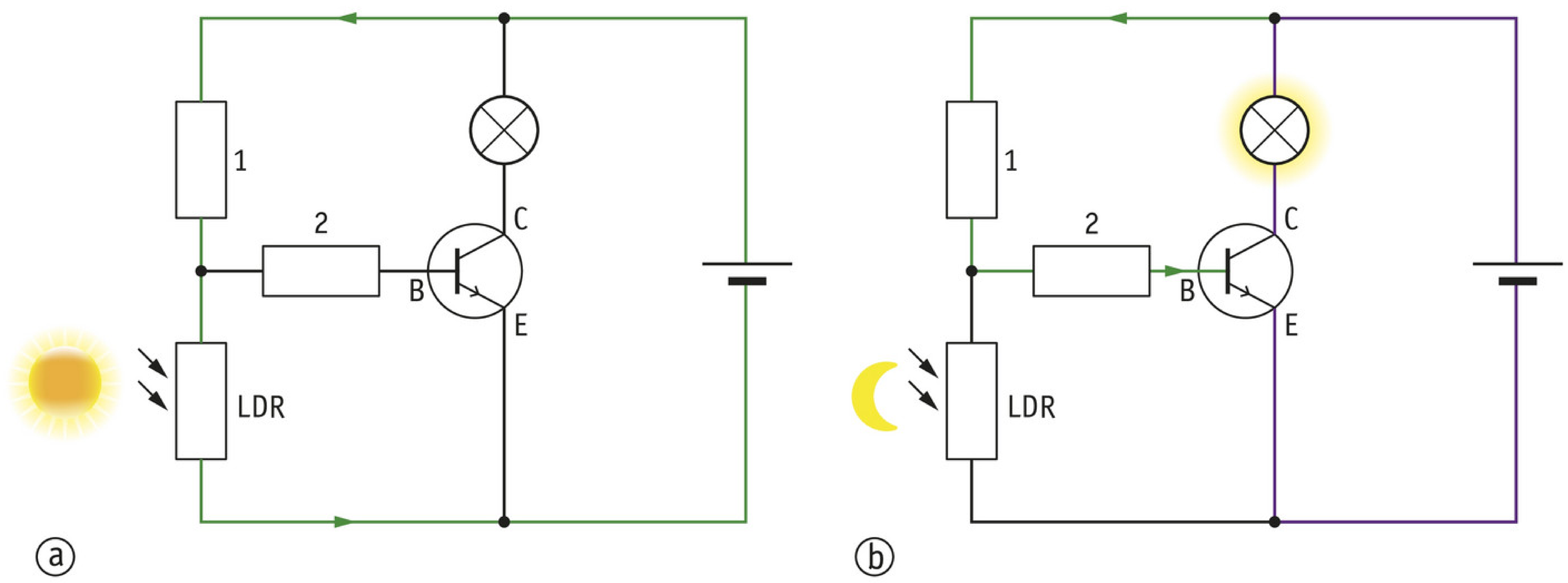


## De automatische straatlantaarn

Met een transistor kun je ook een automatische straatlantaarn bouwen. In de schakeling van figuur 38a hoef je daarvoor maar één ding te veranderen: de draad op de ruit moet vervangen worden door een LDR.

In figuur 39a zie je het resultaat. Als het licht is, is de weerstand van de LDR klein. Bijna alle stroom loopt dan via de LDR en dus niet via de basis. De transistor blijft in de UIT-stand staan: de lamp brandt niet.

Als het donker wordt, neemt de weerstand van de LDR toe. Daardoor zal er steeds meer stroom door de basis lopen. Er loopt nu ook steeds meer stroom door de lamp. Als het helemaal donker is, brandt de lamp op volle sterkte (figuur 39b).




▶ figuur 39
een automatische straatlantaarn

## Plus Een reedcontact als sensor

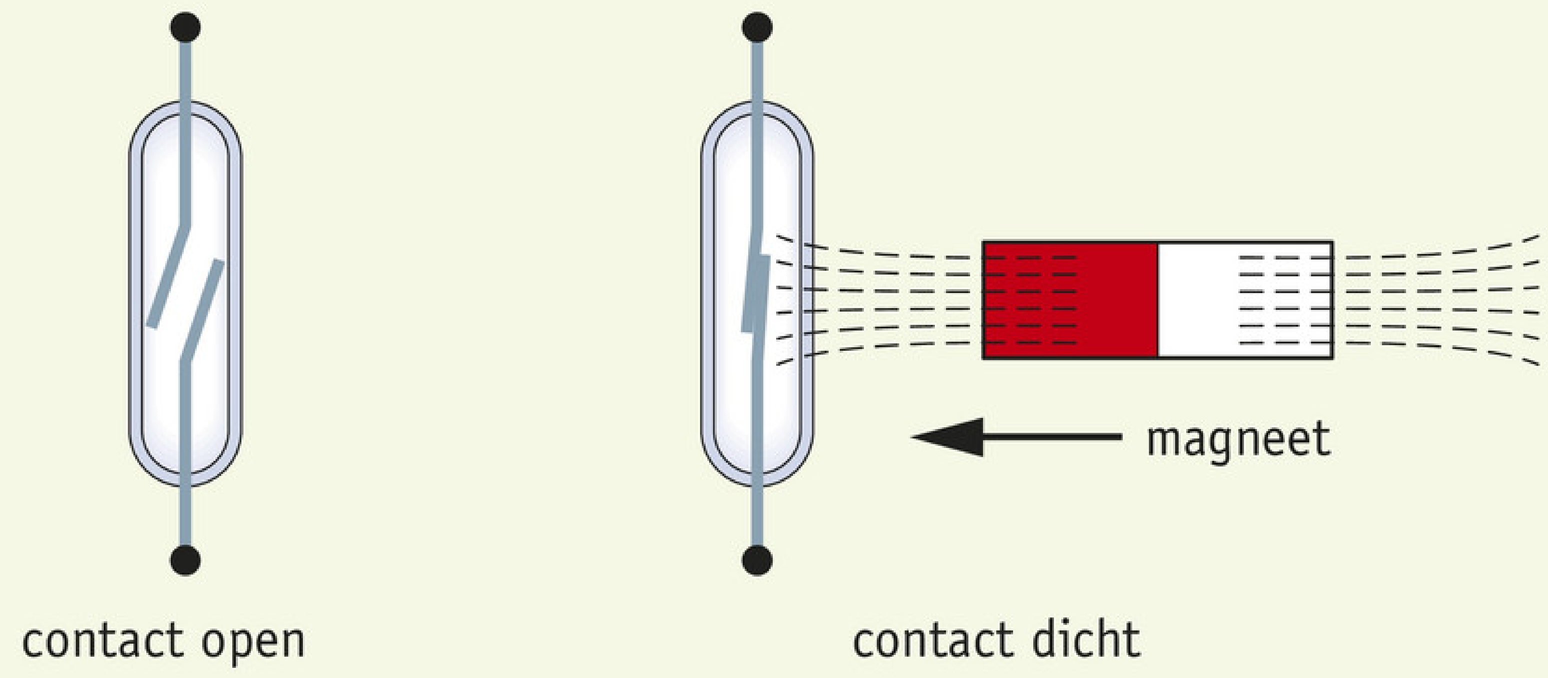



In het inbraakalarm in figuur 40 wordt een **reedcontact** als sensor gebruikt. Een reedcontact is een glazen buisje met daarin twee stalen strips. Als er een magneet bij het reedcontact gehouden wordt, maken de uiteinden van de strips contact (figuur 41).

Het reedcontact wordt geplaatst op het kozijn van een raam. Op het raam zelf wordt een permanente magneet gemonteerd. Zolang het raam dicht is, zorgt de magneet ervoor dat het reedcontact gesloten blijft. Er loopt dan een elektrische stroom door het contact. Deze stroom is een signaal met de betekenis: alles is hier in orde.

◀ figuur 40
een inbraakalarm met reedcontact

Als het raam met het inbraakalarm geopend wordt, wordt de magneet bij het reedcontact weggehaald. Het reedcontact laat dan geen stroom meer door. Het wegvallen van de stroom is een signaal met de betekenis: er is iets mis, sla alarm!



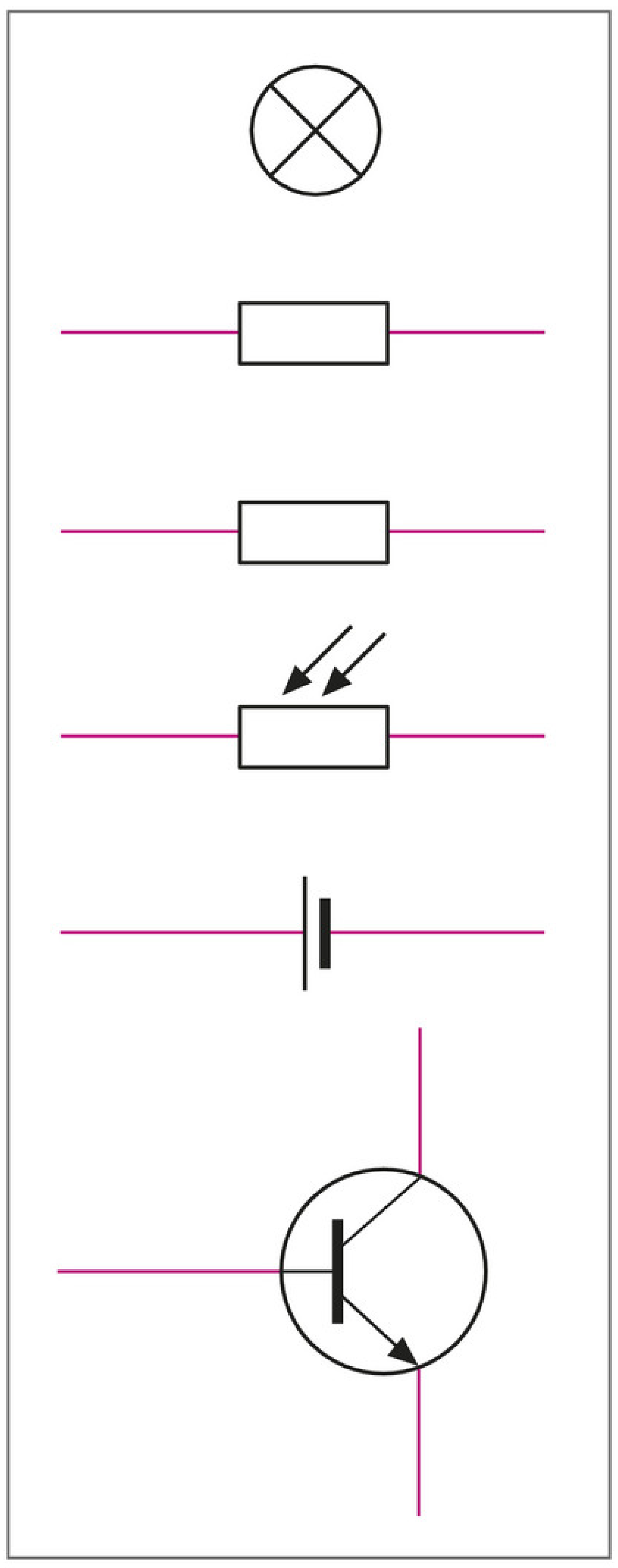

▶ **figuur 41**
Een reedcontact sluit, als er een magneet bij gehouden wordt.

**opgaven**

## Leerstof

**35** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke functie heeft de transistor in een inbraakalarm?
- **b** Hoe heten de drie aansluitpunten van een transistor?
- **c** Wanneer laat een transistor de 'apparaatstroom' door?
- **d** Wanneer houdt een transistor de 'apparaatstroom' tegen?

**36** Met de zes onderdelen in figuur 42 en wat snoertjes kun je een model bouwen van een automatische straatlantaarn.
Teken het schakelschema van deze schakeling.

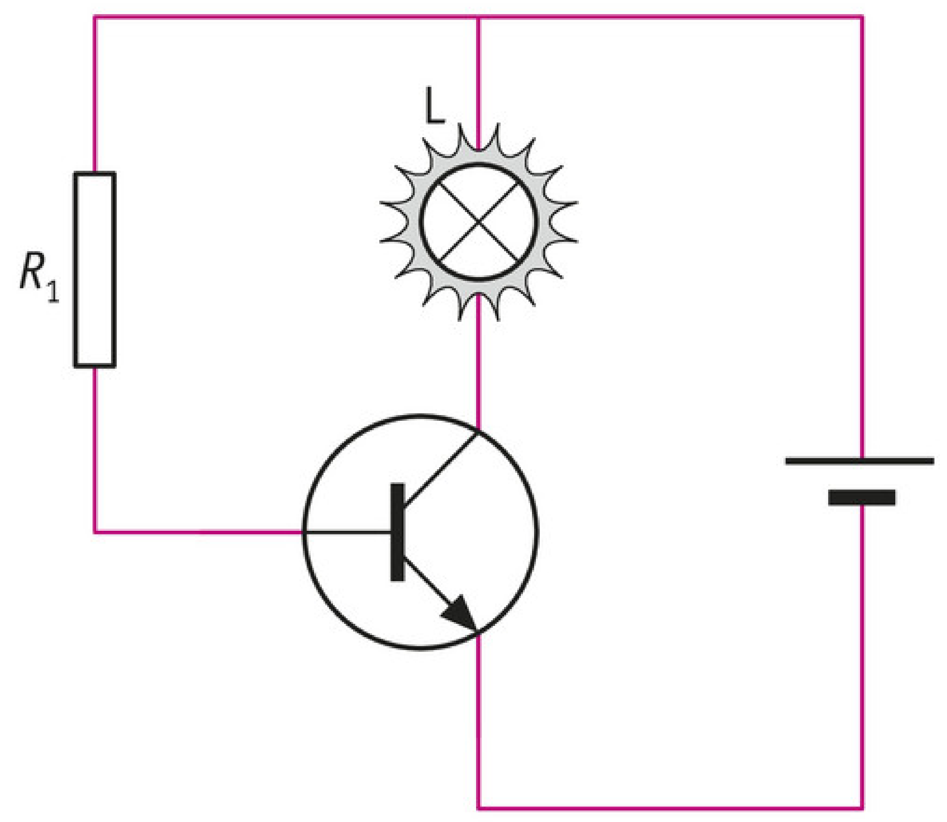


▲ **figuur 42**
de onderdelen voor een automatische straatlantaarn

## Toepassing

**37** Hieronder staan zes onderdelen die je in een schakeling kunt gebruiken:
*elektromotor – LDR – ledlampje – NTC – transistor – zoemer.*
- **a** Welke onderdelen zijn sensoren?
- **b** Welk onderdeel is een schakelaar?
- **c** Welke onderdelen zijn actuatoren?

**38** Je kunt in een woonhuis verschillende automatische schakelingen tegenkomen.
Welke automatische schakeling:
- **a** schakelt de spanning op een groep uit als er ergens in huis kortsluiting of overbelasting is ontstaan?
- **b** zet de cv-installatie aan, als de temperatuur in de woonkamer tot onder de ingestelde waarde daalt?
- **c** waarschuwt de bewoners voor brand als zich ergens in huis rook begint te ontwikkelen?
- **d** laat de verlichting 's avonds enkele uren branden, zodat het lijkt alsof de bewoners thuis zijn.




▲ **figuur 43**
Fida's schakeling

**39** Fida heeft een testschakeling met een transistor gemaakt (figuur 43).

**a** Neem de figuur over en zet een B bij de basis, een C bij de collector en een E bij de emitter van de transistor.

**b** Welke stroomsterkte is het grootst: die door het lampje of die door de weerstand?

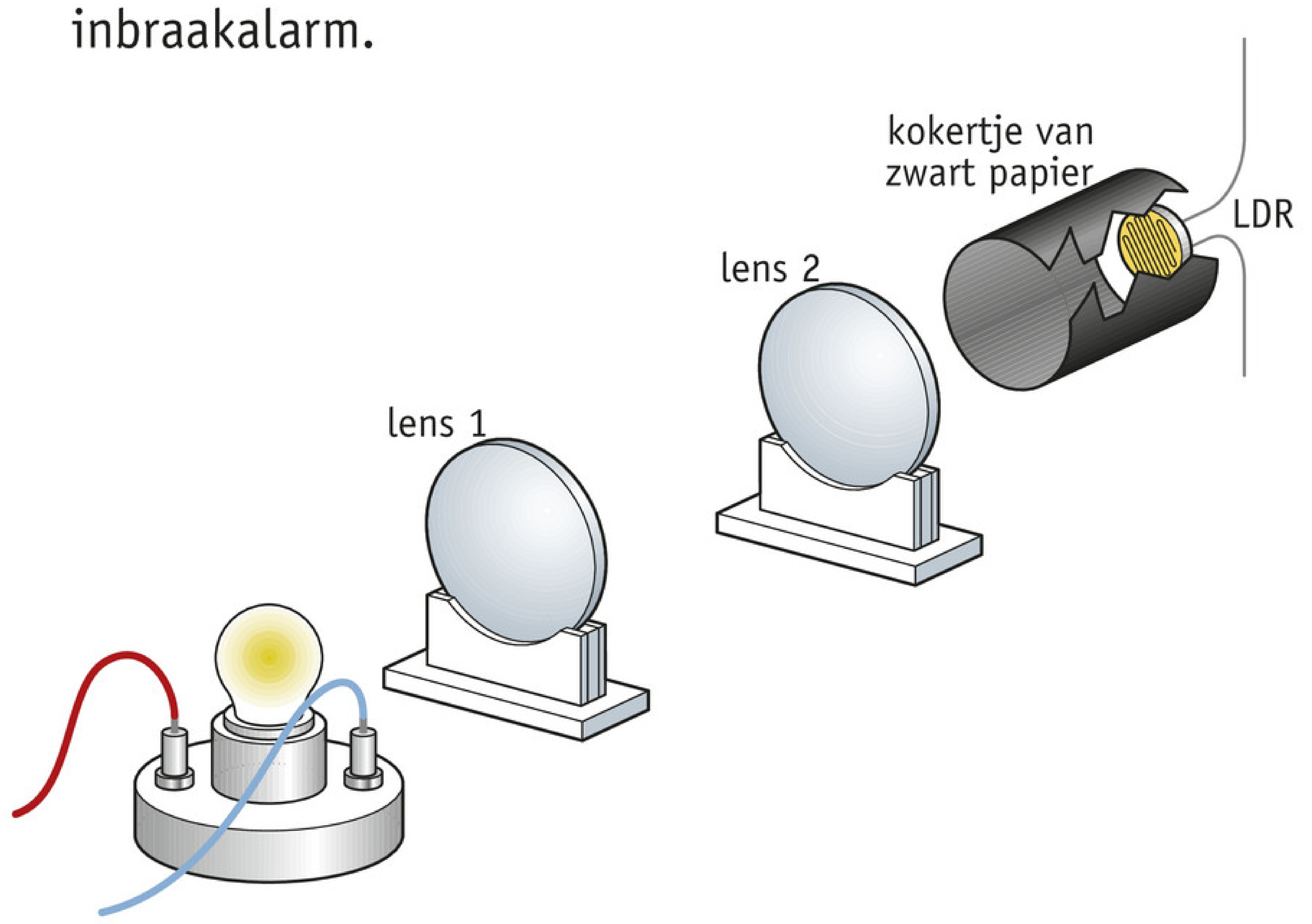
**c** Fida vervangt de gewone weerstand $R_1$ door een lichtgevoelige LDR. Als ze haar hand over deze LDR legt, gaat het lampje uit.
Leg uit waarom het lampje dan uitgaat. Bespreek in je antwoord wat er gebeurt met de stroomsterkte door de basis.

**40** In een bepaald type inbraakalarm wordt een lichtpoort gebruikt om mensen te detecteren. Zo'n lichtpoort bestaat uit een lichtbron die een dunne lichtbundel produceert, en een lichtsensor. Als een inbreker (of iemand anders) de lichtstraal onderbreekt, signaleert de sensor dat.

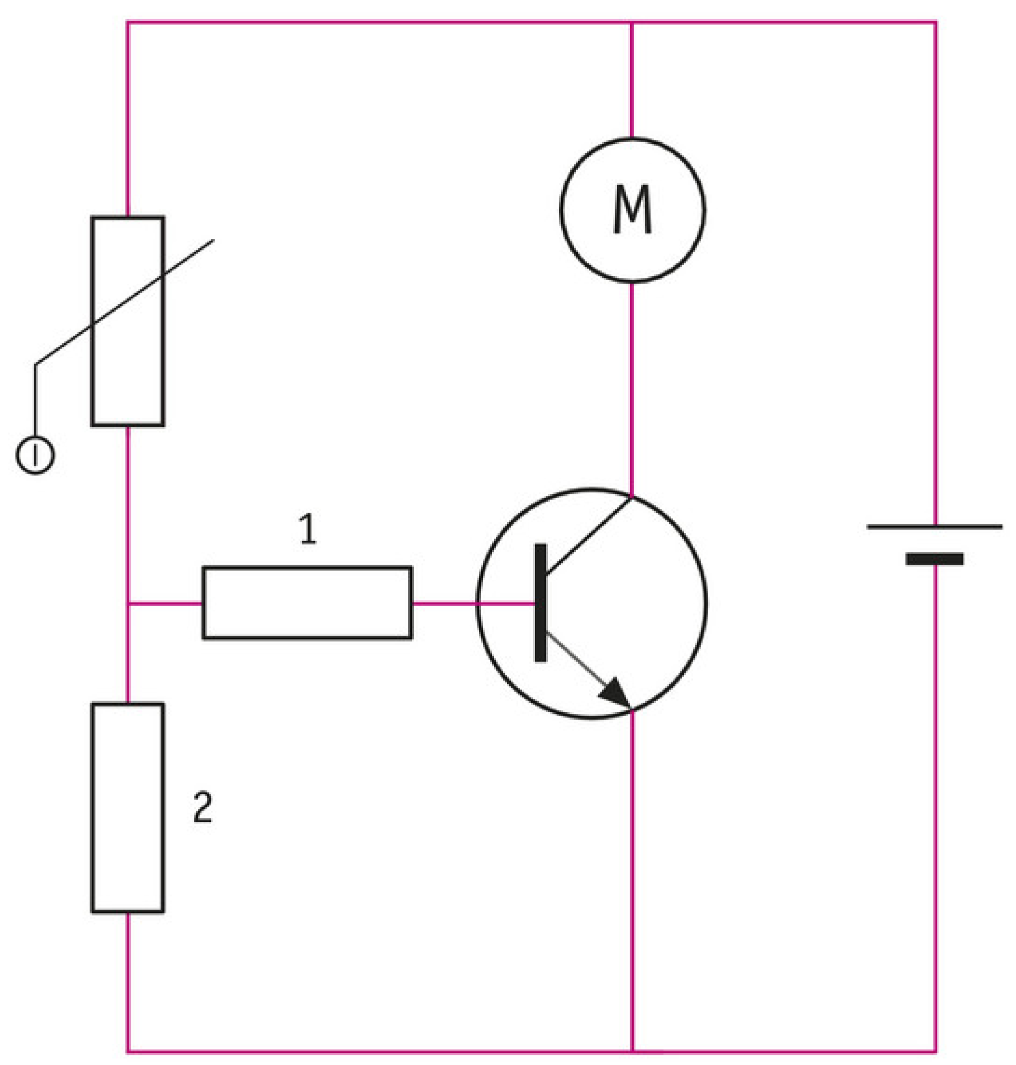
**a** In figuur 44 is een model van zo'n lichtpoort getekend.
Leg uit:
- waarvoor lens 1 dient.
- waarvoor lens 2 dient.

**b** Ontwerp een eenvoudig inbraakalarm dat een zoemer laat afgaan, als de lichtstraal wordt onderbroken. Teken het schakelschema van het alarm.

**c** Je kunt dit alarm ook bouwen met een infraroodlaser en een ir-sensor. Leg uit welk voordeel het gebruik van ir-straling heeft voor een inbraakalarm.




▲ **figuur 44**
een model van een lichtpoort




▲ **figuur 45**
een ventilator die rekening houdt met de temperatuur

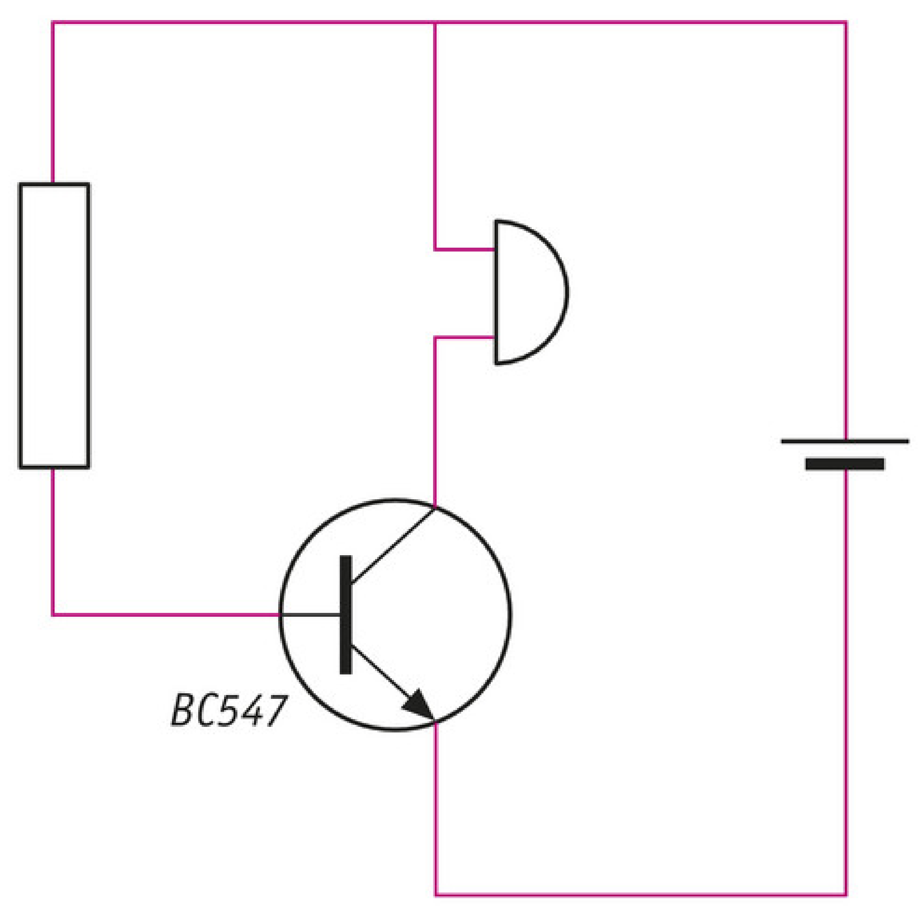
**41** Computerchips kunnen erg heet worden. Daarom hebben de meeste computers een ventilator die koele lucht over de chips heen blaast. De schakeling in figuur 45 kan het toerental van zo'n ventilator automatisch regelen.
Leg uit:

**a** welk schakelonderdeel in deze schakeling functioneert als sensor.

**b** hoe deze sensor reageert op een stijging van de temperatuur.

**c** hoe de schakelstroom door de transistor in dat geval verandert.

**d** hoe het komt dat de ventilator dan sneller begint te draaien.




▲ **figuur 46**
een schakeling met een BC547-transistor

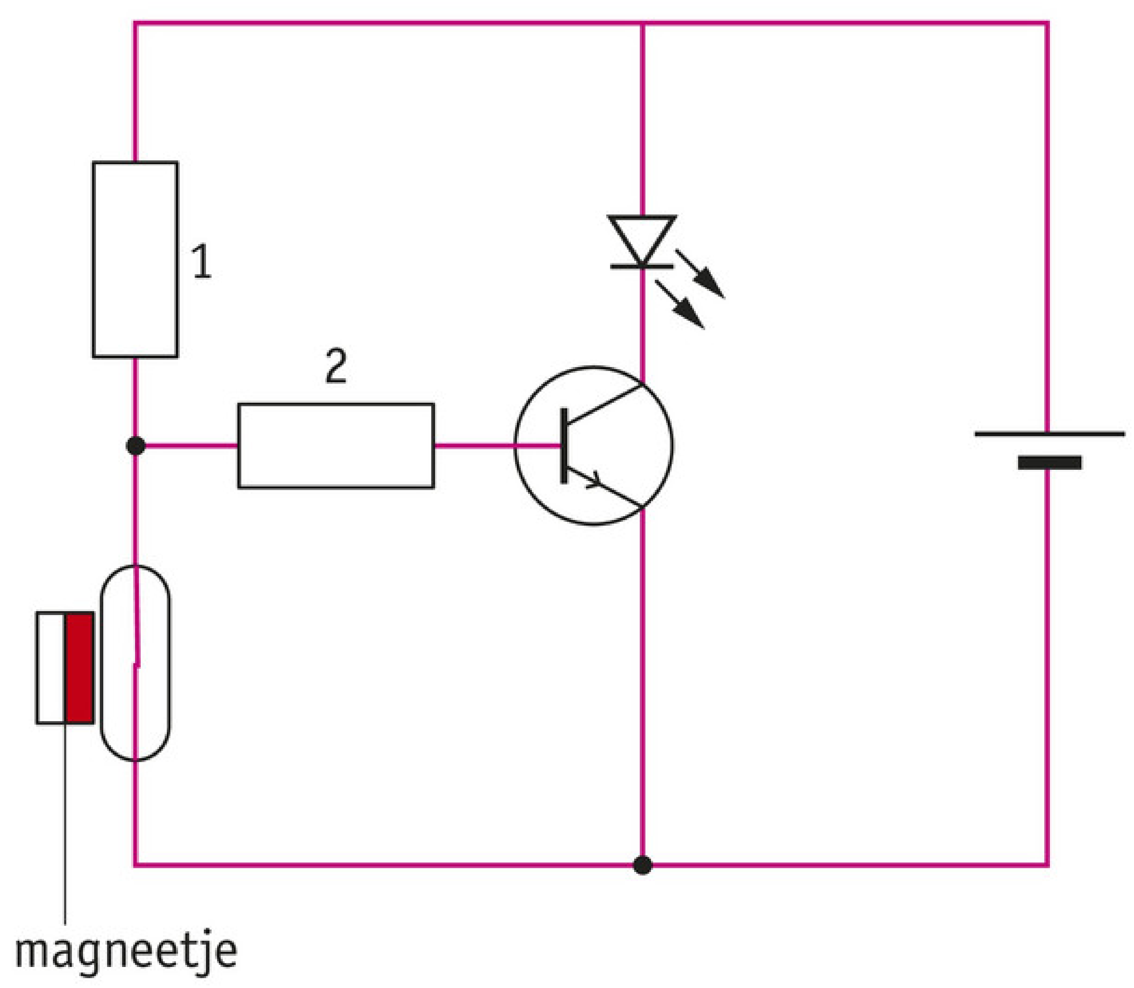
**42** In de schakeling in figuur 45 zijn twee weerstanden gebruikt.
Leg uit:
- **a** welke weerstand dient om de stroomsterkte door de sensor te begrenzen.
- **b** waarvoor de andere weerstand dient: welke stroomsterkte begrenst die?

***43** De schakeling in figuur 39 op bladzijde 242 heeft één nadeel: je kunt de verlichting niet aandoen als het nog licht is. Met een gewone schakelaar en twee draden kun je dat probleem oplossen.
- **a** Leg uit of je de transistor en de gewone schakelaar daarvoor in serie of parallel moet schakelen.
- **b** Teken het schakelschema van de aangepaste schakeling, waarin je de verlichting ook overdag kunt aanzetten.

***44** Een veelgebruikte transistor is de BC547. Deze transistor wordt onder andere gebruikt als stroomversterker. Met een kleine basisstroom (van B naar E) kun je een veel grotere collectorstroom (van C naar E) regelen. De BC547 heeft een versterkingsfactor van 250. Dat wil zeggen dat de collectorstroom 250× zo groot is als de basisstroom.
- **a** Hoe groot is de collectorstroom, als de basisstroom 0,2 mA is?
- **b** Hoe groot is de basisstroom, als de collectorstroom 80 mA is?
- **c** Roos maakt een schakeling met een BC547 (figuur 46). Om de zoemer goed te laten werken, moet de stroomsterkte door de zoemer tussen de 70 en de 100 mA liggen.
  Hoe groot moet de basisstroom minstens zijn om de zoemer goed te laten werken?

## Plus Een reedcontact als sensor

***45** Een raam wordt beveiligd door een deur- en raamalarm met een reedcontact en een klein magneetje. Het reedcontact is aangebracht op het kozijn, het magneetje op het raam zelf. In figuur 47 zie je het schakelschema.
- **a** Wat is in deze schakeling:
  - de sensor?
  - de actuator?
- **b** Hoe reageert de sensor als iemand het raam opendoet?
- **c** Hoe komt het dat de actuator dan wordt ingeschakeld? Leg uit.




▲ **figuur 47**
het schakelschema van een raamalarm

***46** Vervolg van opgave 45.
Weerstand 1 is een onmisbaar onderdeel van de schakeling in figuur 47.
- **a** Licht toe wat de functie is van deze weerstand.
- **b** Een ontwerper moet voor weerstand 1 een geschikte waarde $R_1$ kiezen.
  Leg uit wat er fout gaat:
  - als $R_1$ veel te klein is.
  - als $R_1$ veel te groot is.

# Practicum

## Proef 1 Aantrekken en afstoten 20 min

### Inleiding

Je kunt voorwerpen laden door ze met een doek te wrijven. Dat ze geladen zijn, kun je op verschillende manieren merken.

### Doel

Je gaat onderzoeken welke krachten geladen voorwerpen uitoefenen op andere voorwerpen, en op elkaar.

### Nodig

- 2 pvc-buizen
- 2 perspex staven
- wollen doek
- zijden doek
- draaitafel/houder
- velletje papier

### Uitvoeren en uitwerken

*Onderzoek 1*

– Scheur het velletje papier in kleine stukjes.
– Wrijf een pvc-buis stevig met de wollen doek.
– Houd de buis vlak bij de papiersnippers.

**1** Schrijf op wat je ziet.

*Onderzoek 2*

– Zet een kraan zo ver open dat je een heel dun waterstraaltje krijgt.
– Wrijf een pvc-buis stevig met de wollen doek.
– Houd de staaf vlak bij het waterstraaltje.

**2** Schrijf op wat je ziet.

*Onderzoek 3*

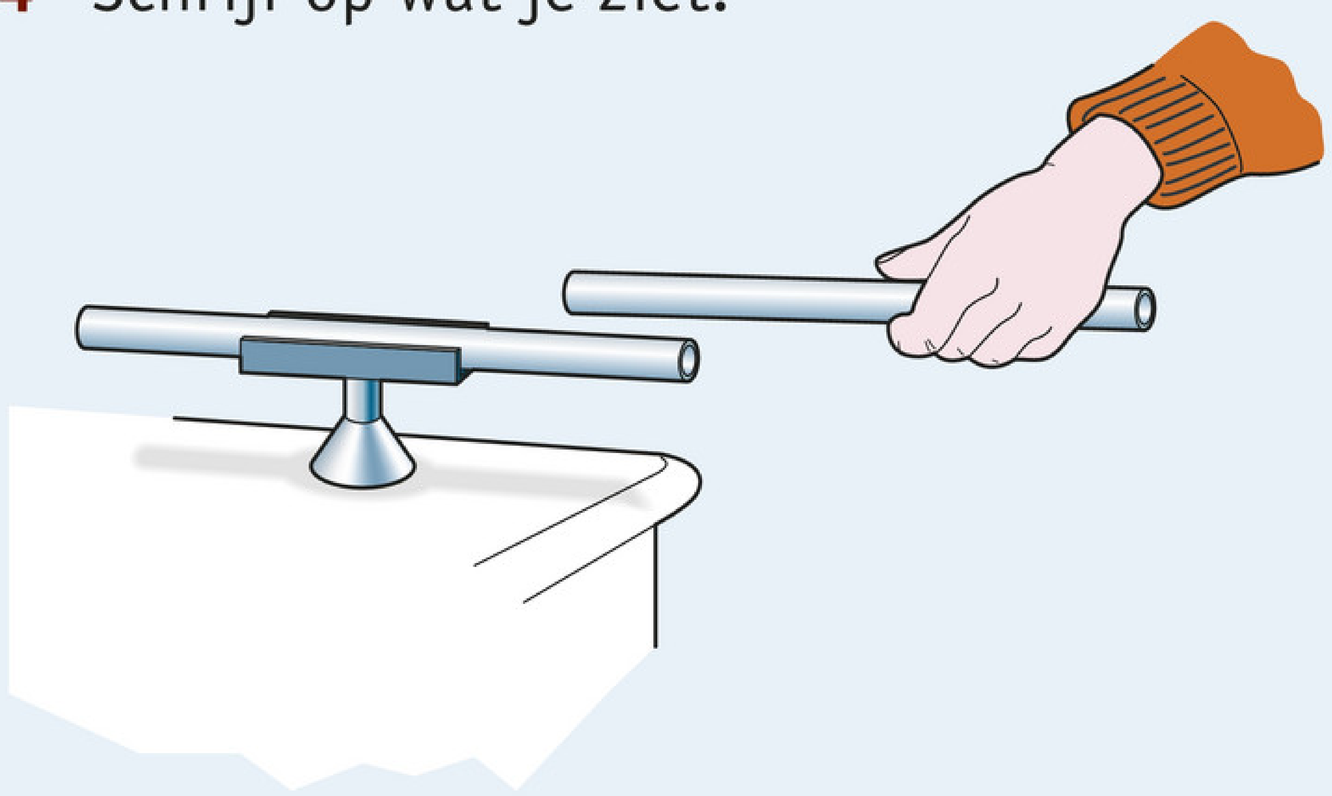
– Wrijf een perspex staaf stevig met de zijden doek.
– Houd de staaf vlak bij de papiersnippers.

**3** Schrijf op wat je ziet.

*Onderzoek 4*

– Wrijf een van de pvc-buizen met de wollen doek. Leg de buis meteen daarna op de draaitafel.
– Wrijf de tweede pvc-buis met de wollen doek. Houd hem vervolgens vlak bij de eerste pvc-buis (figuur 48).

**4** Schrijf op wat je ziet.



▲ **figuur 48**
aantrekken of afstoten?

*Onderzoek 5*

– Wrijf een van de pvc-buizen met de wollen doek. Leg de buis meteen daarna op de draaitafel.
– Wrijf een perspex staaf met de zijden doek. Houd hem vervolgens vlak bij de pvc-buis.

**5** Schrijf op wat je ziet.

*Onderzoek 6*

– Wrijf een van de perspex staven met de zijden doek. Leg de staaf meteen daarna op de draaitafel.
– Wrijf de andere perspex staaf met de zijden doek. Houd hem vervolgens vlakbij de eerste perspex staaf.

**6** Schrijf op wat je ziet.

*Conclusies*

**7** Wat voor krachten (aantrekkende of afstotende) bestaan er:
- **a** tussen een geladen en een neutraal voorwerp?
- **b** tussen twee geladen pvc-buizen?
- **c** tussen twee geladen perspex staven?
- **d** tussen een geladen pvc-buis en een geladen perspex staaf?

**8** Op welke manier kun je onderzoeken of een willekeurig geladen voorwerp dezelfde lading heeft als een pvc-buis?

## Proef 2 Het (*I*,*U*)-diagram van een constantaandraad 40 min

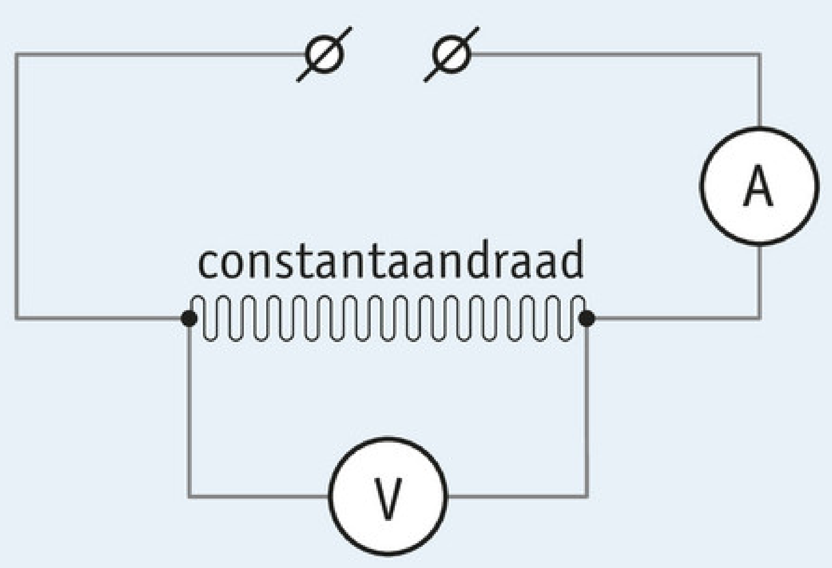
### Inleiding
Als je de spanning in een schakeling verandert, verandert de stroomsterkte ook. Door metingen te doen, kun je ontdekken hoe de stroomsterkte precies verandert. Je maakt de spanning stap voor stap groter en kijkt elke keer hoe groot de stroomsterkte dan wordt.

### Doel
Bij deze proef ga je zo'n onderzoek uitvoeren bij een constantaandraad. De onderzoeksvraag is:
*Welk verband bestaat er bij een constantaandraad tussen de stroomsterkte en de spanning?*

### Nodig
- voedingskastje
- 5 snoeren
- stroommeter of multimeter
- spanningsmeter of multimeter
- constantaandraad
- werkblad 6-4

### Uitvoeren en uitwerken
*Meten*
- Zie vaardigheid 4 achter in het boek. Maak de schakeling van figuur 49.

**Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.**




**figuur 49**
de schakeling van proef 2

- Stel de spanning in op 0 V voordat je de voeding aanzet.
- Maak de spanning steeds 0,5 V hoger en meet de bijbehorende stroomsterkte door de draad. Ga hiermee door tot de spanning 3 V is.

**1** Neem tabel 4 over. Noteer je meetgegevens op de juiste plaats in de tabel.

**tabel 4** de meetresultaten van proef 2

| spanning (V) | stroomsterkte (A) | weerstand (Ω) |
|---|---|---|
| 0 | | |
| 0,5 | | |
| 1,0 | | |
| 1,5 | | |
| enzovoort | | |

*Uitwerken*

**2** Pak werkblad 6-4 erbij. Verwerk je meetresultaten tot een (*I*,*U*)-diagram.

**3** Wat kun je zeggen over het verband tussen de spanning over en de stroom door de draad?

**4** Bereken hoe groot de weerstand van de draad bij elke meting was. Noteer de uitkomst in de derde kolom van de tabel.

**5** Wat valt je op als je de berekende weerstandswaarden met elkaar vergelijkt?

**6** Had je de conclusie van vraag 4 ook al uit het diagram kunnen trekken? Licht je antwoord toe.

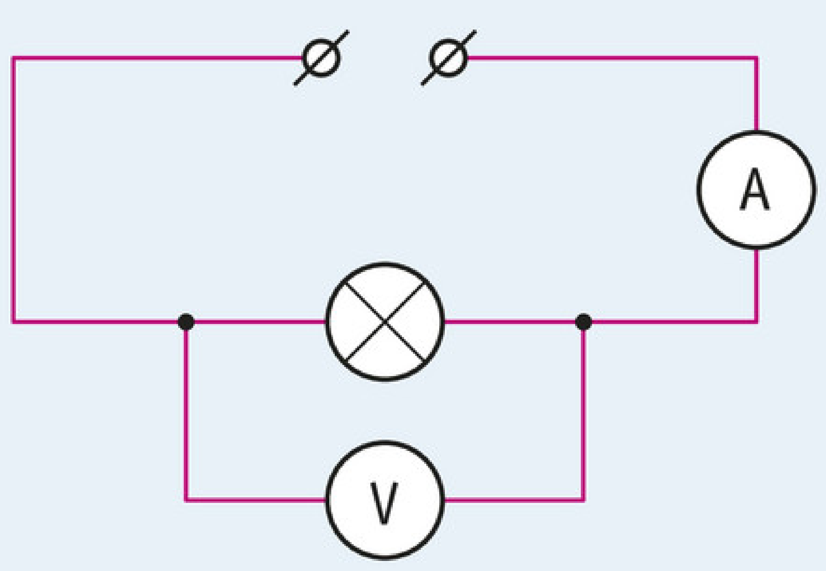
## Proef 3 Het (*I*,*U*)-diagram van een gloeilampje 30 min

### Inleiding
Als je de spanning in een schakeling verandert, verandert de stroomsterkte ook. Bij een constantaandraad is de stroomsterkte evenredig met de spanning: de twee grootheden gaan gelijk op. Maar geldt de uitkomst van deze proef ook voor andere soorten draden?

### Doel
Bij deze proef ga je net zo'n onderzoek uitvoeren als bij proef 2, maar nu met een gloeidraad. De onderzoeksvraag is:
*Welk verband bestaat er bij een gloeidraad tussen de stroomsterkte en de spanning?*

## Nodig
- voedingskastje
- 5 snoeren
- stroommeter of multimeter
- spanningsmeter of multimeter
- lampje
- fitting
- werkblad 6-5

## Uitvoeren en uitwerken
*Meten*
- Maak de schakeling van figuur 50.
- Stel de spanning in op 0 V voordat je de voeding aanzet.
- Maak de spanning steeds 1 V hoger en meet de bijbehorende stroomsterkte door het gloeilampje. Ga hiermee door tot de spanning 6 V is.




▲ **figuur 50**
de schakeling van proef 3

**1** Neem tabel 5 over. Noteer je meetgegevens op de juiste plaats in de tabel.

▼ **tabel 5** de meetresultaten van proef 3

| spanning (V) | stroomsterkte (A) | weerstand (Ω) |
|---|---|---|
| 0 | | |
| 1,0 | | |
| 2,0 | | |
| 3,0 | | |
| enzovoort | | |

*Uitwerken*

**2** Pak werkblad 6-5 erbij. Verwerk je meetresultaten tot een ($I$,$U$)-diagram.

**3** Wat kun je zeggen over het verband tussen de spanning over en de stroom door de draad?

**4** Bereken hoe groot de weerstand van het gloeilampje bij elke meting was. Noteer de uitkomst in de derde kolom van de tabel.

**5** Wat valt je op als je de berekende weerstandswaarden met elkaar vergelijkt?

**6** Welke waarde heeft de weerstand van het lampje bij 0 V?

**7** Wat zou een verklaring kunnen zijn voor het veranderen van de weerstand? Hoe zou je kunnen testen of die verklaring juist is?

# Proef 4 De vervangingsweerstand van een serieschakeling 20 min

## Inleiding
Weerstanden worden vaak in serie geschakeld. Voor de totale weerstand $R_{tot}$ van zo'n schakeling geldt:
$R_{tot} = R_1 + R_2 + \ldots$

## Doel
Je gaat de formule $R_{tot} = R_1 + R_2 + \ldots$ controleren in een serieschakeling van twee weerstanden.

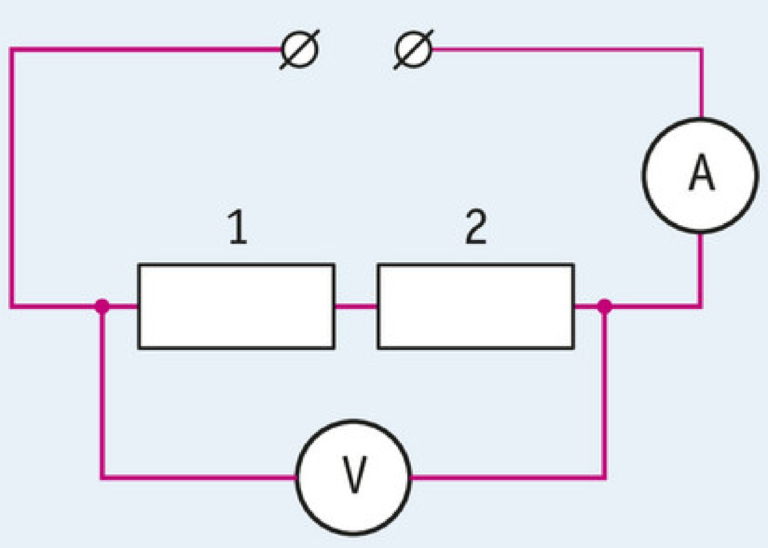
## Nodig
- voedingskastje
- 6 snoeren
- spanningsmeter
- stroommeter
- 2 weerstanden

## Uitvoeren en uitwerken
*Meten*
- Bepaal de waarde van weerstand 1.
- Bepaal de waarde van weerstand 2.

**1** Noteer je meetresultaten en berekeningen.

- Maak de schakeling van figuur 51.
- Meet de (totale) spanning en de stroomsterkte.

▶ **figuur 51**
het schakelschema van proef 4



2 Noteer je meetresultaten.

*Uitwerken*

3 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I}$$

4 Bereken de totale weerstand met de formule: $R_{tot} = R_1 + R_2$

5 Vergelijk de uitkomsten van vraag 3 en 4. Wat is je conclusie?

## Proef 5 De vervangingsweerstand van een parallelschakeling 20 min

### Inleiding

Bij proef 4 heb je de vervangingsweerstand bepaald van twee weerstanden die in serie geschakeld waren. Bij deze proef ga je met dezelfde weerstanden aan het werk, maar nu schakel je ze parallel.

### Doel

Je gaat de formule

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$$

controleren in een parallelschakeling van twee weerstanden.

### Nodig

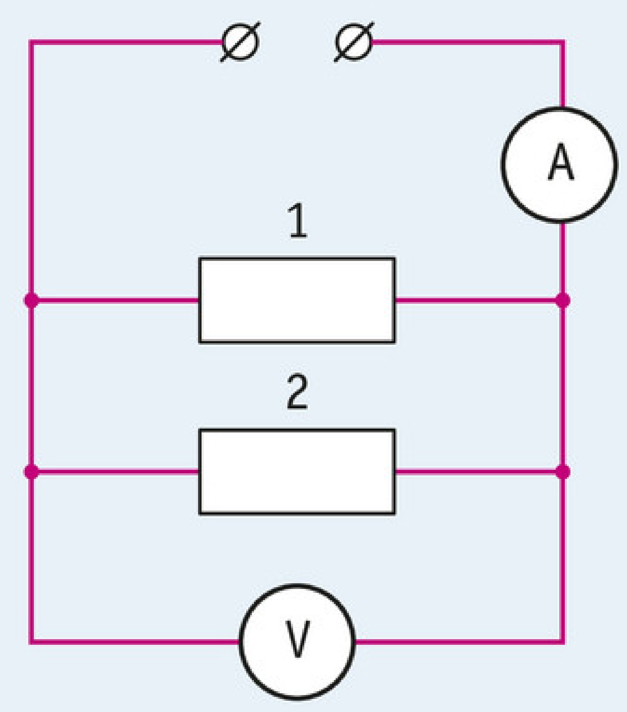
- voedingskastje
- 6 snoeren
- spanningsmeter
- stroommeter
- 2 weerstanden

### Uitvoeren en uitwerken

*Meten*

– Maak de schakeling van figuur 52.
– Meet de spanning en de (totale) stroomsterkte.

1 Noteer je meetresultaten.




◀ **figuur 52**
de schakeling van proef 5

*Uitwerken*

2 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$R_{tot} = \frac{U}{I_{tot}}$$

3 Bereken de totale weerstand met de formule:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

4 Vergelijk de uitkomsten van vraag 2 en 3. Wat is je conclusie?

5 Volgens de theorie is de totale weerstand bij een parallelschakeling kleiner dan $R_1$ en ook kleiner dan $R_2$. Hoe zit dat bij deze parallelschakeling?

## Proef 6 Schakelen met een transistor 45 min

### Inleiding
Een transistor is een automatische schakelaar die in veel elektrische schakelingen wordt gebruikt. Hij heeft drie aansluitpunten: de basis (B), de collector (C) en de emitter (E). Met het stroompje dat via de basis loopt, kun je de transistor laten schakelen.

### Doel
Bij deze proef zie je hoe een transistor werkt. Door een klein stroompje via de basis te laten lopen, kun je een veel grotere stroom inschakelen.

### Nodig
- batterij of voedingskastje
- transistor
- lampje
- 5 elektronica-weerstanden
- snoeren

### Uitvoeren en uitwerken

**Voordat je begint**
Pas op! Transistoren gaan snel kapot als je de stroomsterkte te groot maakt.

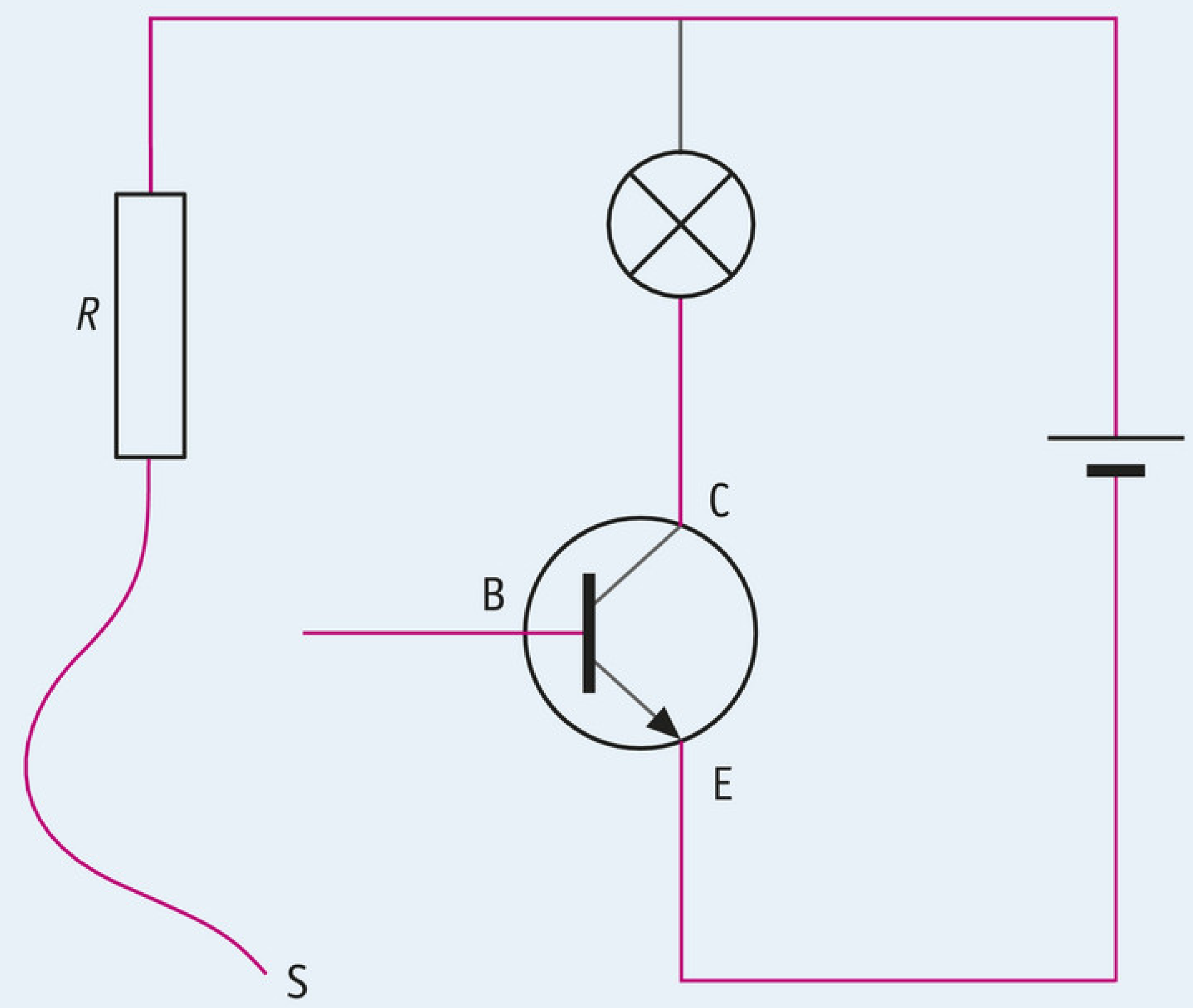
– Bekijk de kleurcodes op de vijf weerstanden.
– Bepaal hoe groot de waarde van elke weerstand is. Zie figuur 29 op bladzijde 236.

**1** Neem tabel 6 over en noteer de waarden van de weerstanden op de juiste plaats.

▼ **tabel 6** Hoe brandt het lampje?

| nr | weerstand (Ω) | het lampje brandt |
|---|---|---|
| 1 | | fel |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |

– Bouw de schakeling van figuur 53. Gebruik voor *R* de kleinste weerstand die je hebt.
– Je docent vertelt je op welke spanning je de schakeling moet aansluiten.



▲ **figuur 53**
de schakeling van proef 6

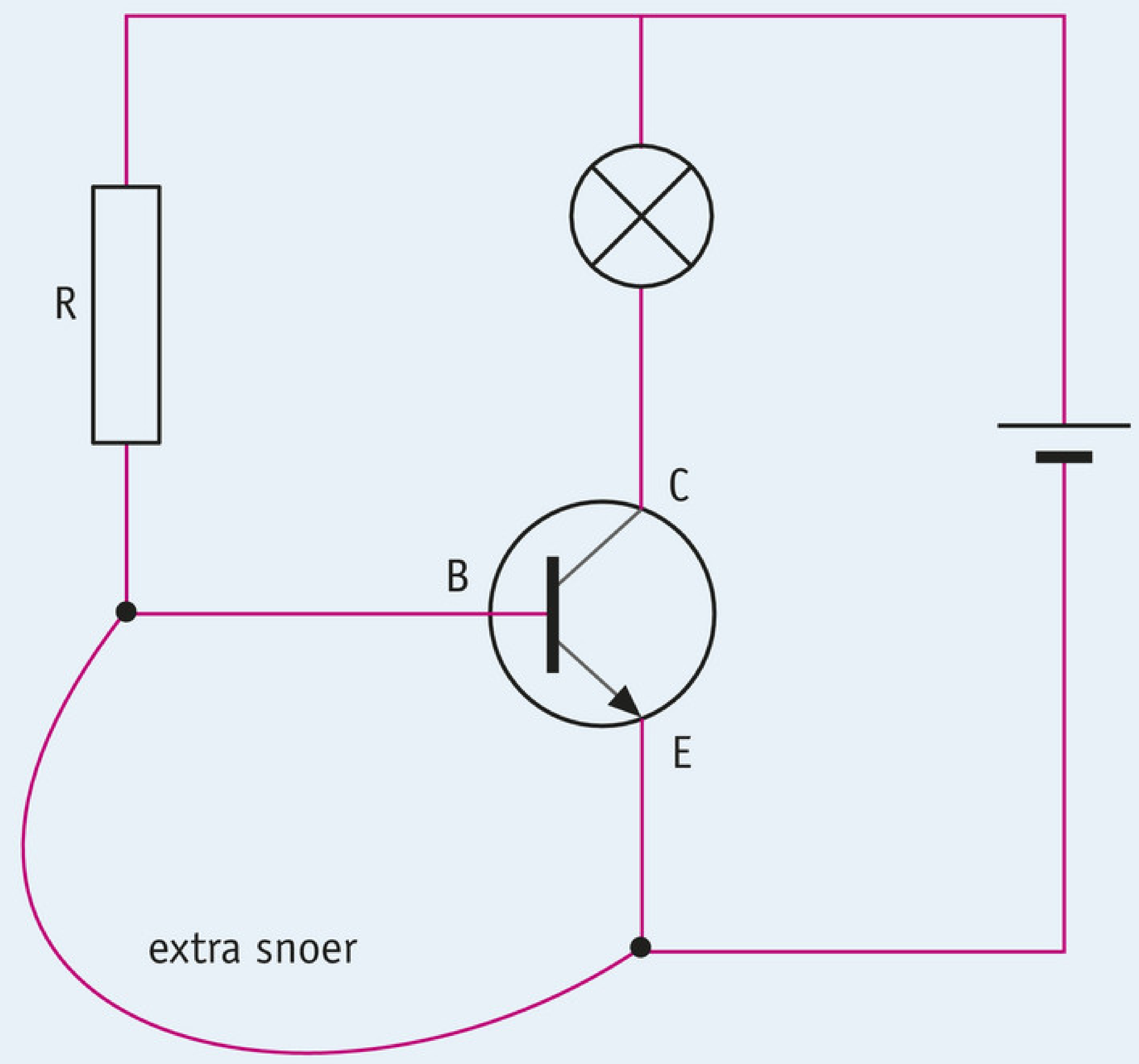
**2** Wat gebeurt er als je met snoer S de basis aanraakt?
**3** Wat gebeurt er als je het snoer weer bij de basis weghaalt?

– Maak het snoer S aan de basis vast. Probeer daarna één voor één de verschillende weerstandjes uit (op de plaats van R).

**4** Noteer op de juiste plaats in de tabel hoe het lampje brandt: fel, gewoon, zwak of (bijna) niet.

– Voeg nu een extra draad aan je schakeling toe zoals in figuur 54 is getekend. Met deze draad sluit je de basis van de transistor kort.

**5** Hoe komt het dat het lampje nu uitgaat? Leg uit.



▶ **figuur 54**
Welk effect heeft de extra draad?

## Proef 7 Een ontwerp maken – de anti-inbraakverlichting 45 min

### Inleiding
Stel je voor: er is ingebroken bij de kantine van een sportvereniging. Om herhaling te helpen voorkomen, wil de beheerder voortaan 's nachts een lamp in de kantine laten branden. "Licht schrikt inbrekers af", zegt hij. De lamp moet automatisch gaan branden als het buiten gaat schemeren en weer uitgaan als het 's ochtends weer licht is. De beheerder wil de lamp overdag ook gewoon met een schakelaar aan en uit kunnen doen. Aan jou de taak om hiervoor een bruikbare oplossing te verzinnen.

### Doel
Bij deze proef ga je een schakeling bedenken en uittesten voor de anti-inbraakverlichting in de kantine. Je schakeling moet aan de volgende ontwerp-eisen voldoen:

**Ontwerpeisen**
- De schakeling zet de lamp aan als het buiten schemerig wordt, en schakelt de lamp uit als het weer licht is.
- De lamp brandt al voluit, als het buiten wel schemerig is, maar nog niet helemaal donker.
- De lamp kan overdag met een gewone lichtschakelaar aangezet worden, ook al schijnt de zon.

### Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt voor een prototype.

### Uitvoeren en uitwerken
– Bedenk hoe je de opdracht kunt uitvoeren. Wat voor schakeling ga je maken? Hoe kies je de waarden van de weerstanden in je schakeling? Hoe ga je testen of de schakeling goed werkt? Hoe zorg je ervoor dat er bij het testen geen componenten kapotgaan?

**1** Maak een werkplan voor deze opdracht.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
– Bouw de schakeling en probeer hem uit.

**2** Maak een testverslag met daarin:
- **a** een schakeling die aan alle ontwerpeisen voldoet.
- **b** de tests die je hebt uitgevoerd, en de resultaten daarvan.
- **c** eventuele veranderingen die je in je schakeling hebt aangebracht.

# Test Jezelf

**Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.**

**1** Jos doet een aantal proeven met statische elektriciteit. Bij een van de proeven trekt een positief geladen voorwerp A een tweede voorwerp B aan. Je kunt hieruit afleiden dat voorwerp B:
A positief geladen is.
B negatief geladen is.
C neutraal is.
D positief geladen of neutraal is.
E negatief geladen of neutraal is.

**2** Als Tom een deur wil openen, springt er een vonkje over tussen zijn vinger en de deurknop.
**a** Welke deeltjes springen er dan over tussen zijn vinger en de deurknop?
**b** Wat voor lading hebben deze deeltjes?

**3** Sabrina wrijft een perspex staaf met een zijden doek en plaatst de staaf daarna in een draaibare houder. Vervolgens wrijft ze een tweede perspex staaf met dezelfde doek en houdt die bij de eerste staaf.
Wat ziet Sabrina dan gebeuren?
A De eerste staaf draait bij de tweede vandaan.
B De eerste staaf draait naar de tweede toe.
C Er springt een vonk over tussen de staven.
D Helemaal niets.

**4** Bij een demonstratieproef wordt Marlieke statisch geladen. Haar haren gaan dan recht overeind staan.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.
De haren *stoten elkaar af* / *trekken elkaar aan*, omdat ze allemaal *dezelfde* / *een verschillende* lading hebben.

**5** Bij een webwinkel kun je reservelampjes kopen voor een zaklantaarn. In de beschrijving staat:

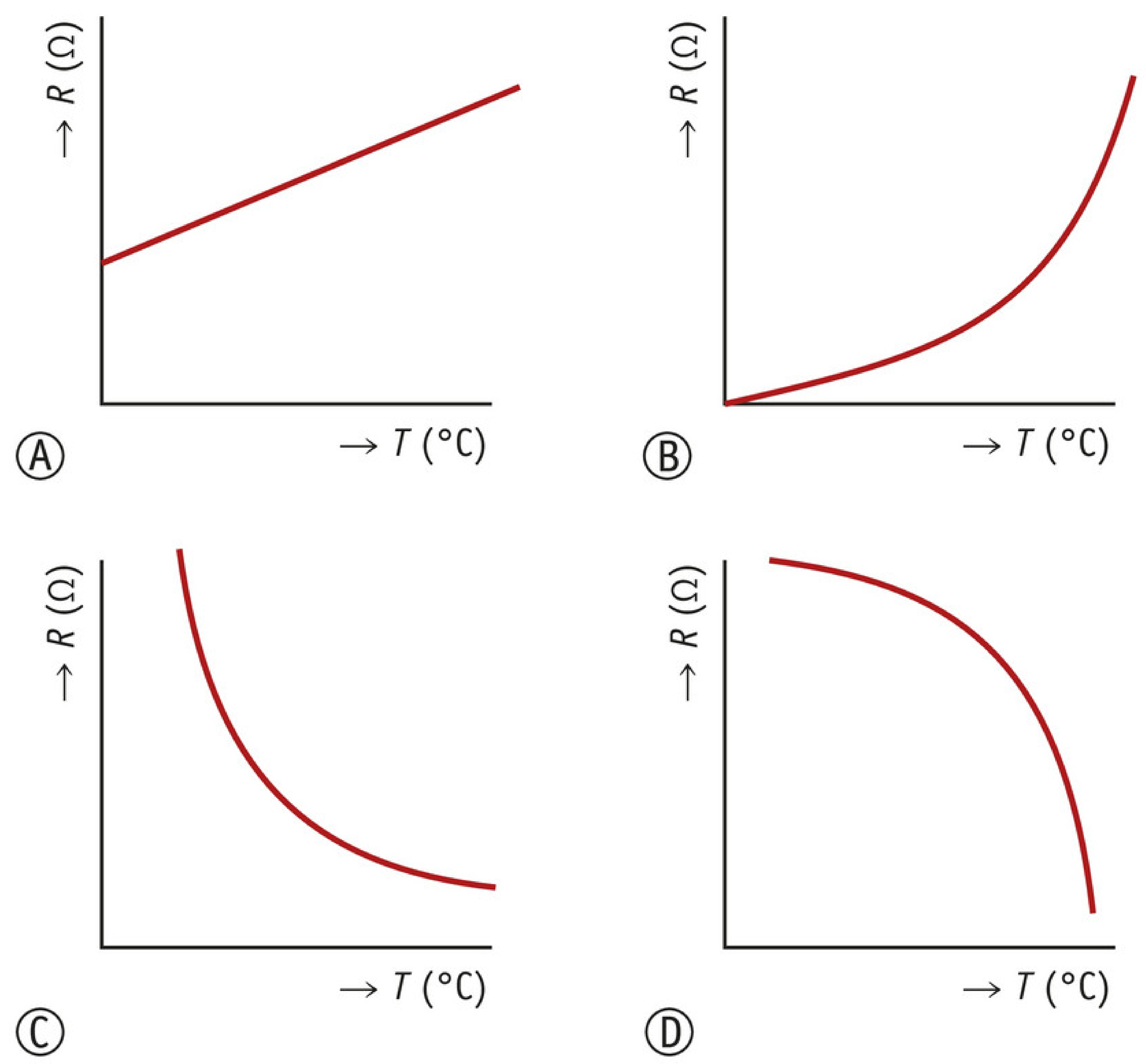
> Reservelamp voor zaklamp 3,5 V 0,7 W 200 mA
> Fitting=E10 Helder

Bereken de weerstand van het lampje als dit op de juiste spanning brandt.

**6** Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.
**a** Hoe feller het licht is dat op een LDR valt, des te groter wordt zijn weerstand.
**b** Als de temperatuur van een NTC daalt, wordt zijn weerstand steeds groter.
**c** Voor de meeste draden geldt dat hun weerstand daalt als hun temperatuur stijgt.
**d** Volgens de wet van Ohm is de spanning recht evenredig met de stroomsterkte.

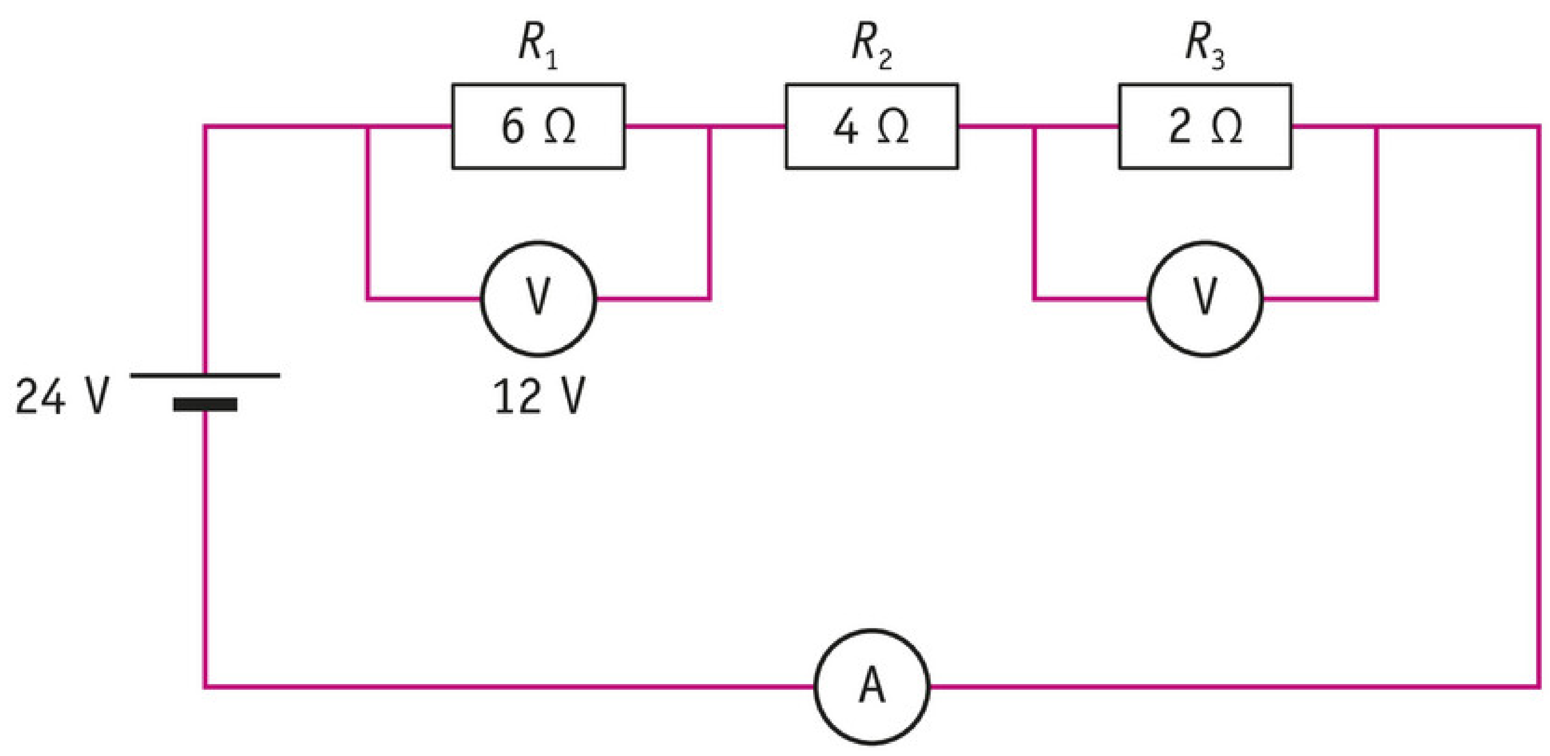
**7** Door een weerstand van 600 Ω loopt een stroom van 20 mA.
Hoe hoog is de spanning die over de weerstand staat?

**8** De weerstand van een NTC houdt verband met de temperatuur.
In welke grafiek in figuur 55 is dit verband juist getekend?



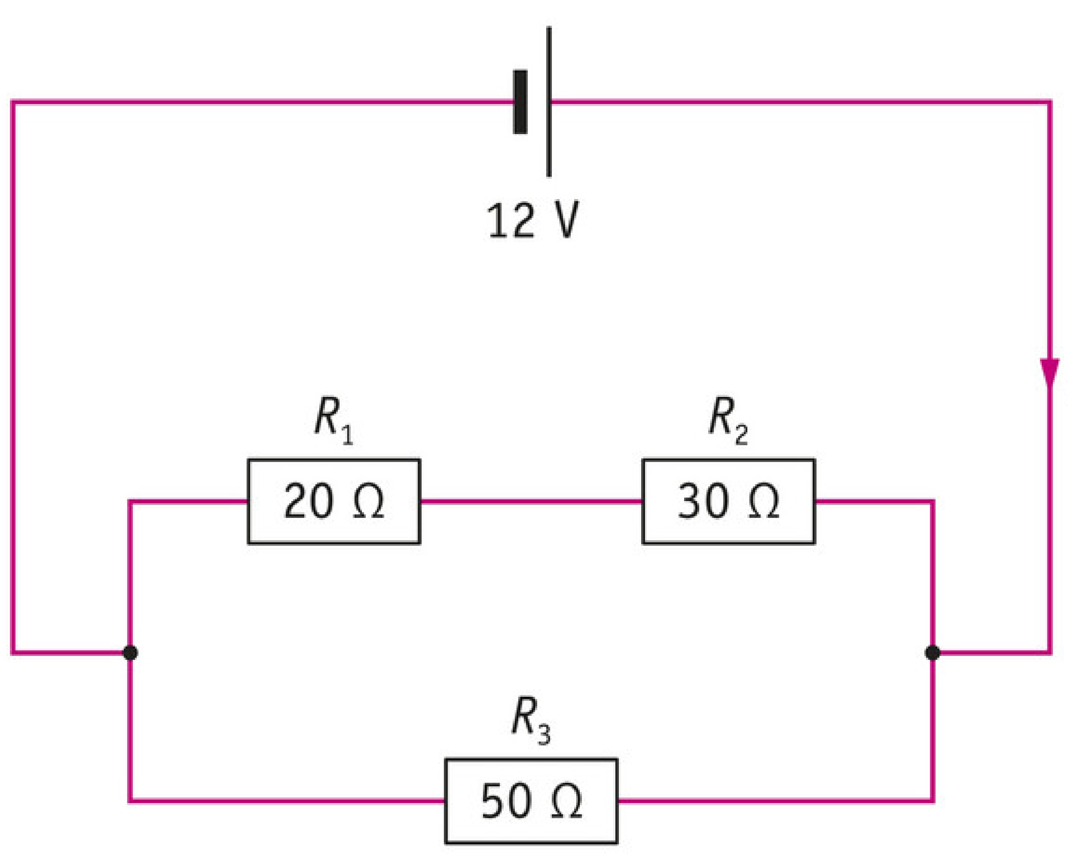

▲ **figuur 55**
Welke grafiek hoort bij een NTC?

**9** Bij een practicum bouwen Thea en Jan de schakeling van figuur 56. Daarna meten ze de spanning over twee weerstanden. De spanning over weerstand 1 is 12 V.
Hoe groot is de spanning over weerstand 3 dan?




▲ **figuur 56**
de schakeling van Thea en Jan

**10** Wat is de vervangingsweerstand van de schakeling in figuur 57?
A 100 Ω
B 50 Ω
C 25 Ω
D 0,5 Ω
E 0,04 Ω

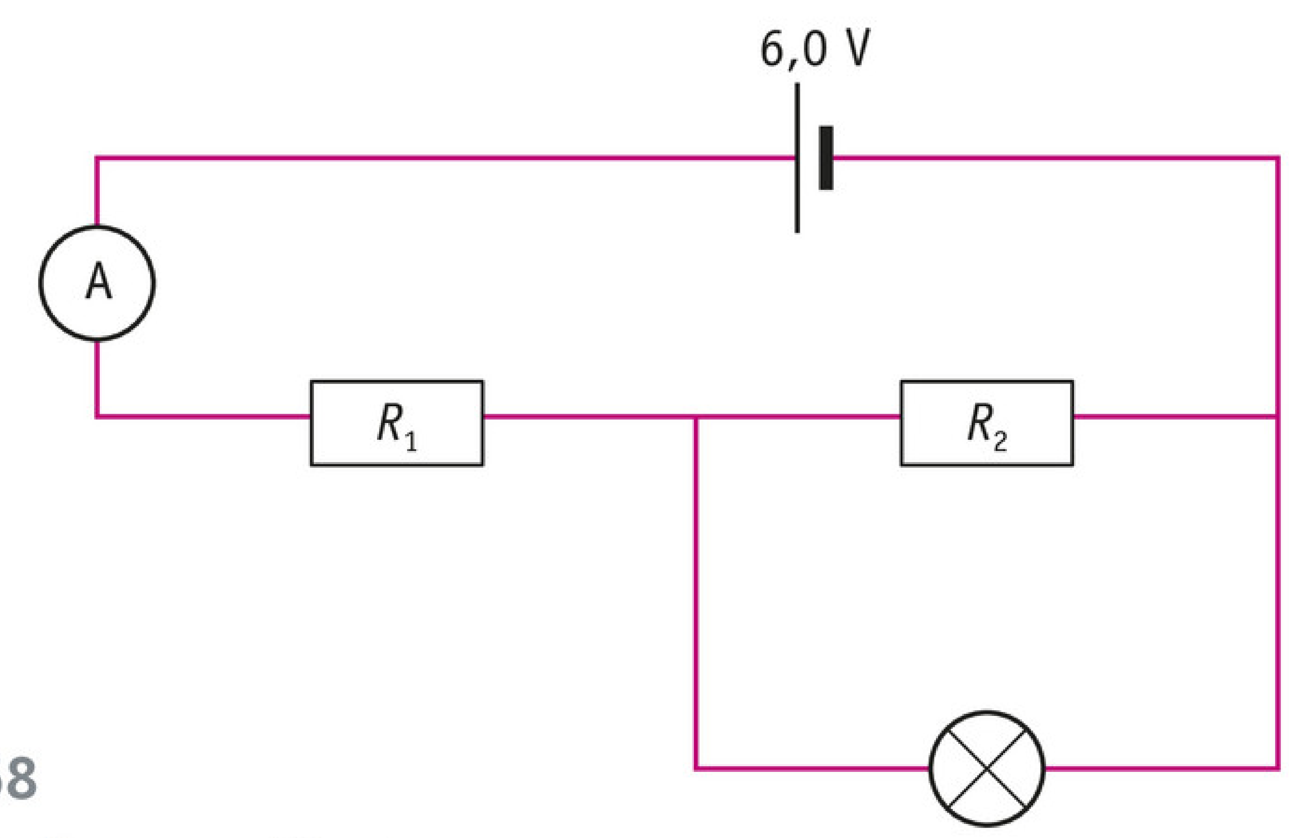



▲ **figuur 57**
een gemengde schakeling

**11** Jan heeft een aantal gelijke lampjes van 6 V/0,1 A. Hij sluit deze lampjes één voor één aan op een voedingskastje dat staat ingesteld op 6,0 V. De voeding wordt beschermd door een zekering van 0,5 A. De lampjes worden door Jan allemaal parallel aan elkaar geschakeld.
Noteer of de volgende beweringen waar zijn of onwaar.

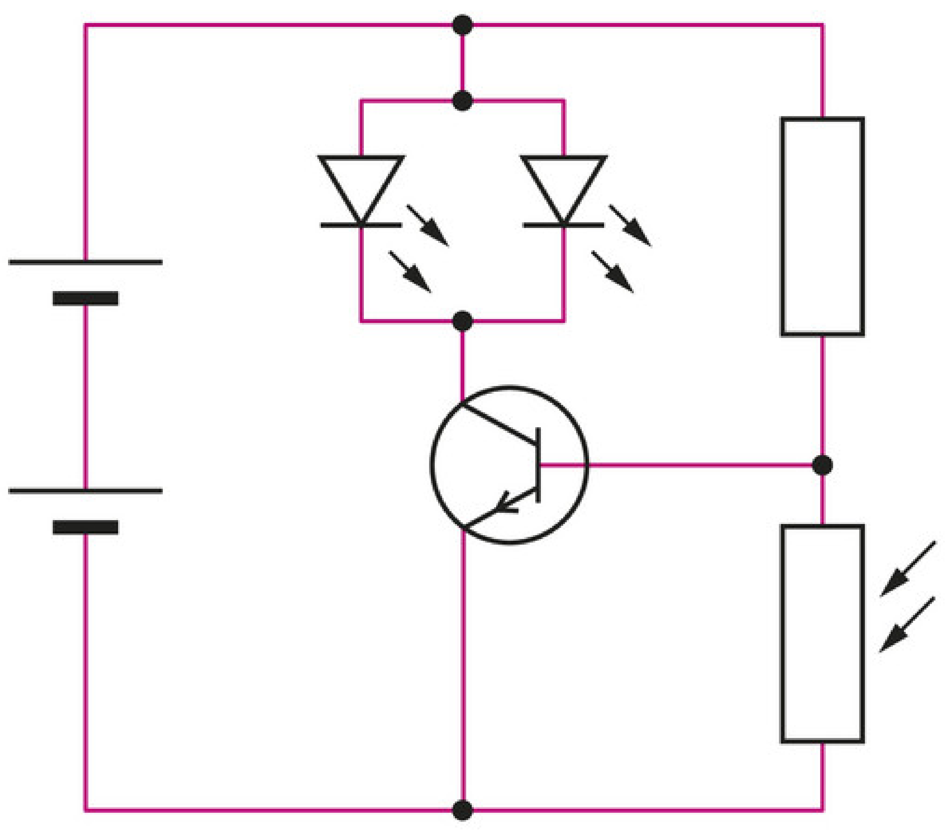
**a** Hoe meer lampjes Jan aansluit, des te groter wordt de vervangingsweerstand.
**b** Hoe meer lampjes Jan aansluit, des te groter wordt de totale stroomsterkte.
**c** Als één lampje in Jans schakeling doorbrandt, gaan alle andere lampjes uit.
**d** Als Jan een nieuw lampje aansluit, gaan de andere lampjes minder fel branden.
**e** Jan kan op zijn hoogst vijf lampjes aansluiten, voordat de zekering doorbrandt.

**12** Alberta heeft de schakeling gemaakt van figuur 58. De weerstanden $R_1$ en $R_2$ in de figuur zijn allebei 2,0 Ω. De stroommeter wijst 2,5 A aan.
Bereken of beredeneer:
**a** de spanning over $R_1$.
**b** de spanning over $R_2$.
**c** de stroomsterkte door $R_2$.
**d** de stroomsterkte door het lampje.




▲ **figuur 58**
de schakeling van Albert

**13** Geert heeft een fietsachterlicht gekocht dat op batterijen werkt. Het achterlicht gaat vanzelf aan, als het buiten donker wordt. In figuur 59 zie je het schakelschema.
Wat is in deze automatische schakeling:
**a** de sensor?
**b** de schakelaar?
**c** de actuator?

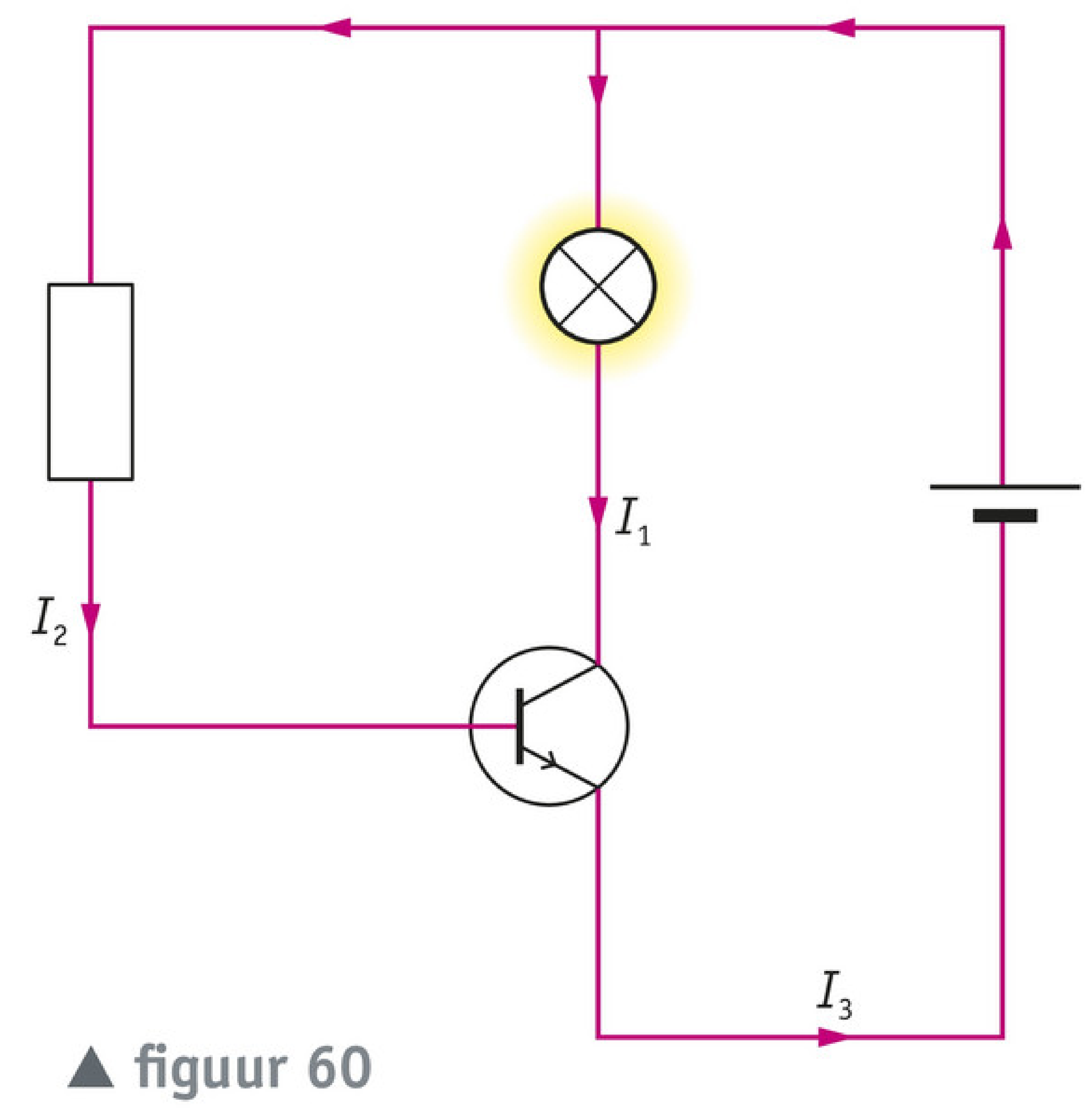


◀ **figuur 59**
het schakelschema van een fietsachterlicht

**14** Vervolg van opgave 13.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.
Als 's avonds de hoeveelheid licht afneemt, wordt de weerstand van de LDR *groter* / *kleiner*. Als gevolg daarvan loopt er *meer* / *minder* stroom door de basis van de transistor. De transistor komt hierdoor in de *AAN-stand* / *UIT-stand* te staan. Zo worden de leds *ingeschakeld* / *uitgeschakeld*.

**15** Irene maakt een schakeling om een transistor te testen (figuur 60). Irene meet op drie plaatsen de stroomsterkte ($I_1$, $I_2$ en $I_3$). Haar meetwaarden zijn, van groot naar klein: 91 mA, 89 mA en 2 mA.

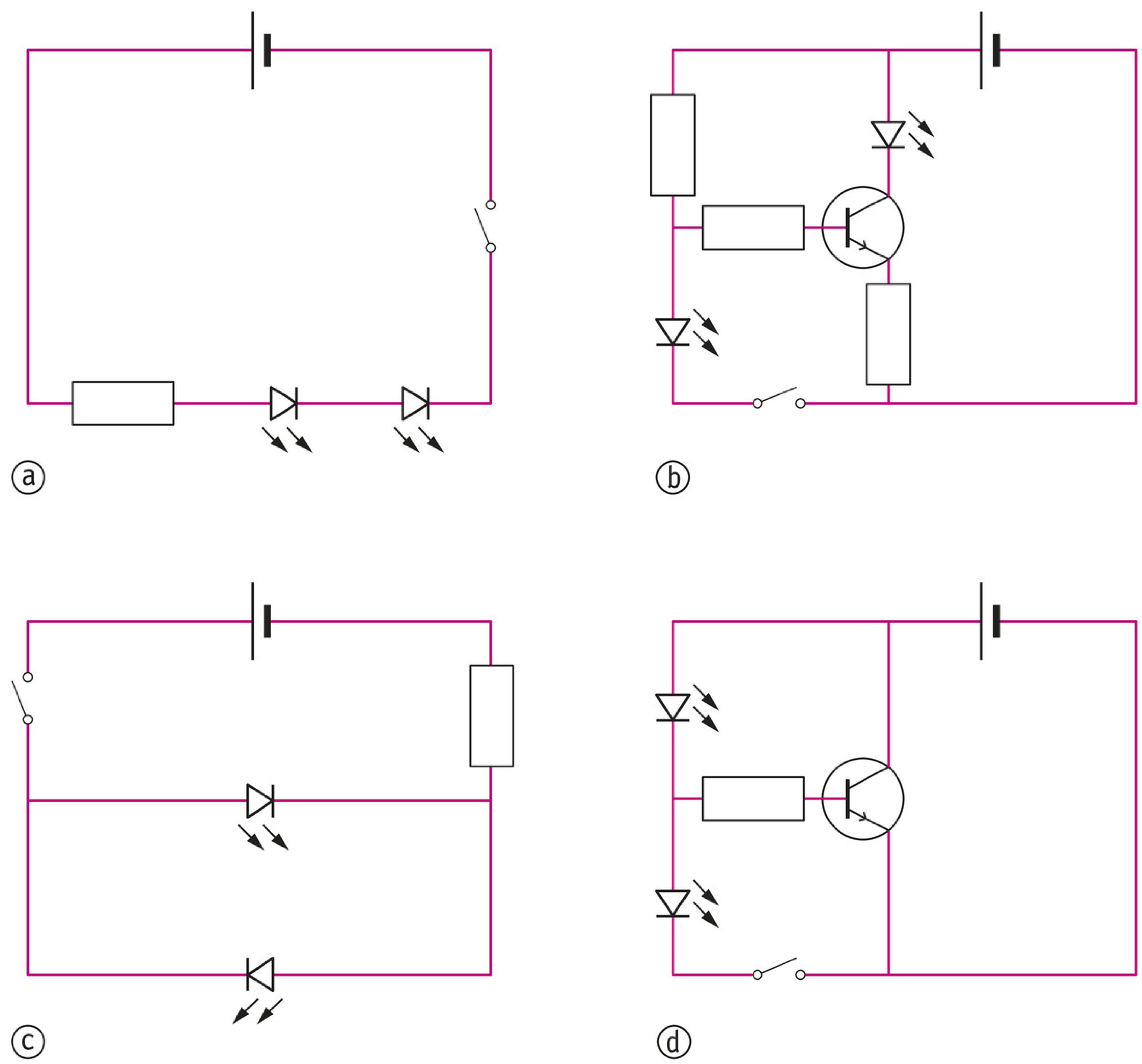
**a** Hoe groot is de stroomsterkte $I_1$?
**b** Hoe groot is de stroomsterkte $I_2$?
**c** Hoe groot is de stroomsterkte $I_3$?



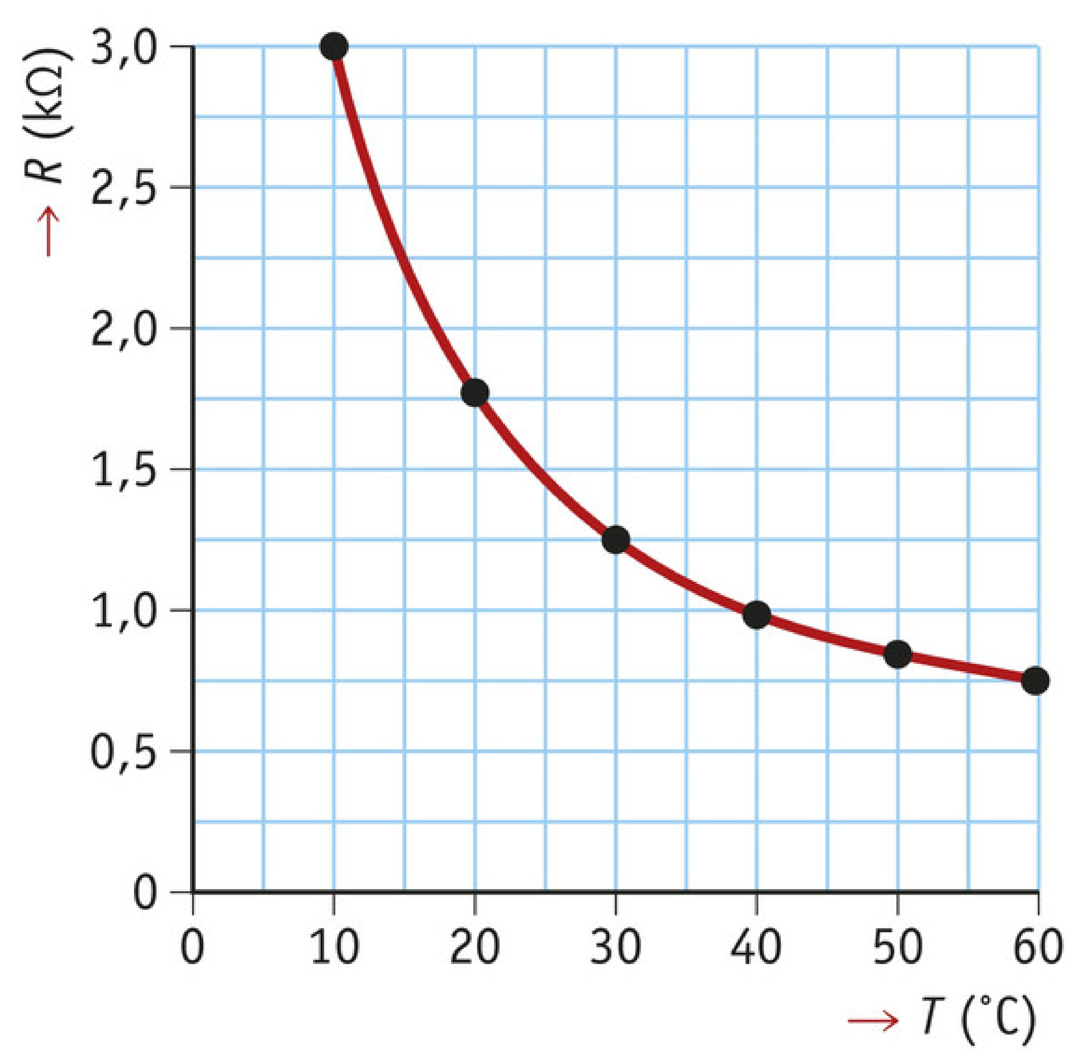

▲ **figuur 60**
Zo kun je een transistor testen.

**16** Isa wil een waarschuwingslamp maken voor haar toilet. Als het toilet bezet is (de schakelaar S is dan gesloten), brandt de ene led. Is het toilet niet bezet (schakelaar S is dan open), dan brandt de andere led.
Met welk ontwerp in figuur 61 is dat mogelijk?

**17** Rafael doet een serie proeven, waarbij hij een NTC als temperatuursensor gebruikt. Vooraf heeft hij het verband gemeten tussen de temperatuur en de weerstand (figuur 62).
Bij een van Rafaels proeven loopt er een stroom van 6,0 mA door de NTC. De spanning over de NTC is op dat moment 10,8 V.
Bepaal hoe hoog de temperatuur van de NTC dan is.



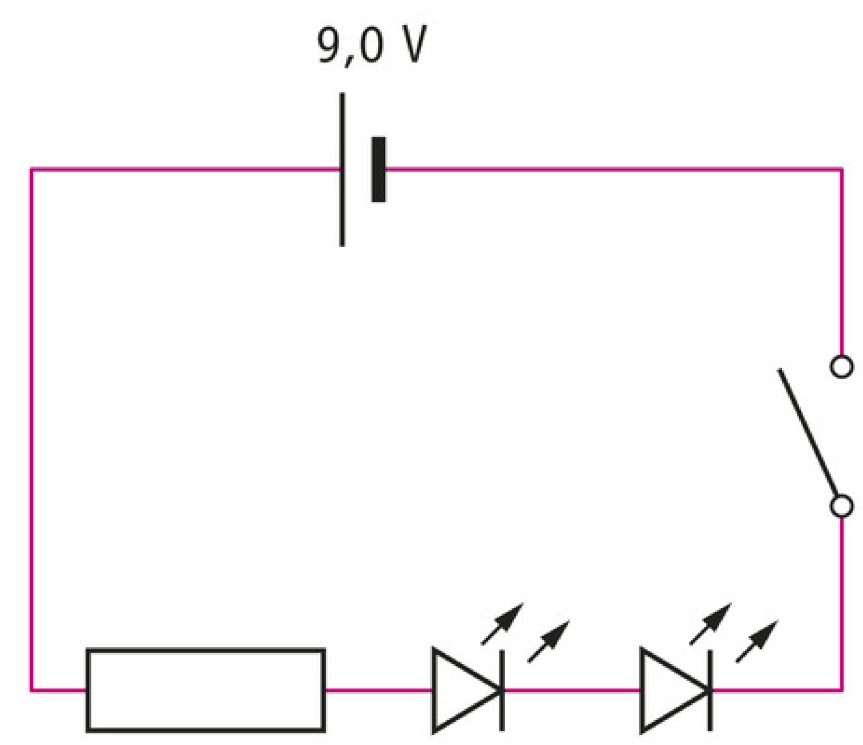

▲ **figuur 61**
Wat is de juiste schakeling?




▲ **figuur 62**
de weerstand van een NTC bij verschillende temperaturen

**18** Myra heeft eenserieschakeling gebouwd met twee identieke leds, een weerstand en een batterij van 9,0 V (figuur 63). Elke led heeft een spanning van 1,6 V nodig om goed te kunnen branden. De stroom door de led is dan 20 mA.

- **a** Waarom heeft Myra een gewone weerstand in serie met de leds aangesloten?
- **b** Bereken hoe groot deze weerstand moet zijn om de leds goed te laten branden.



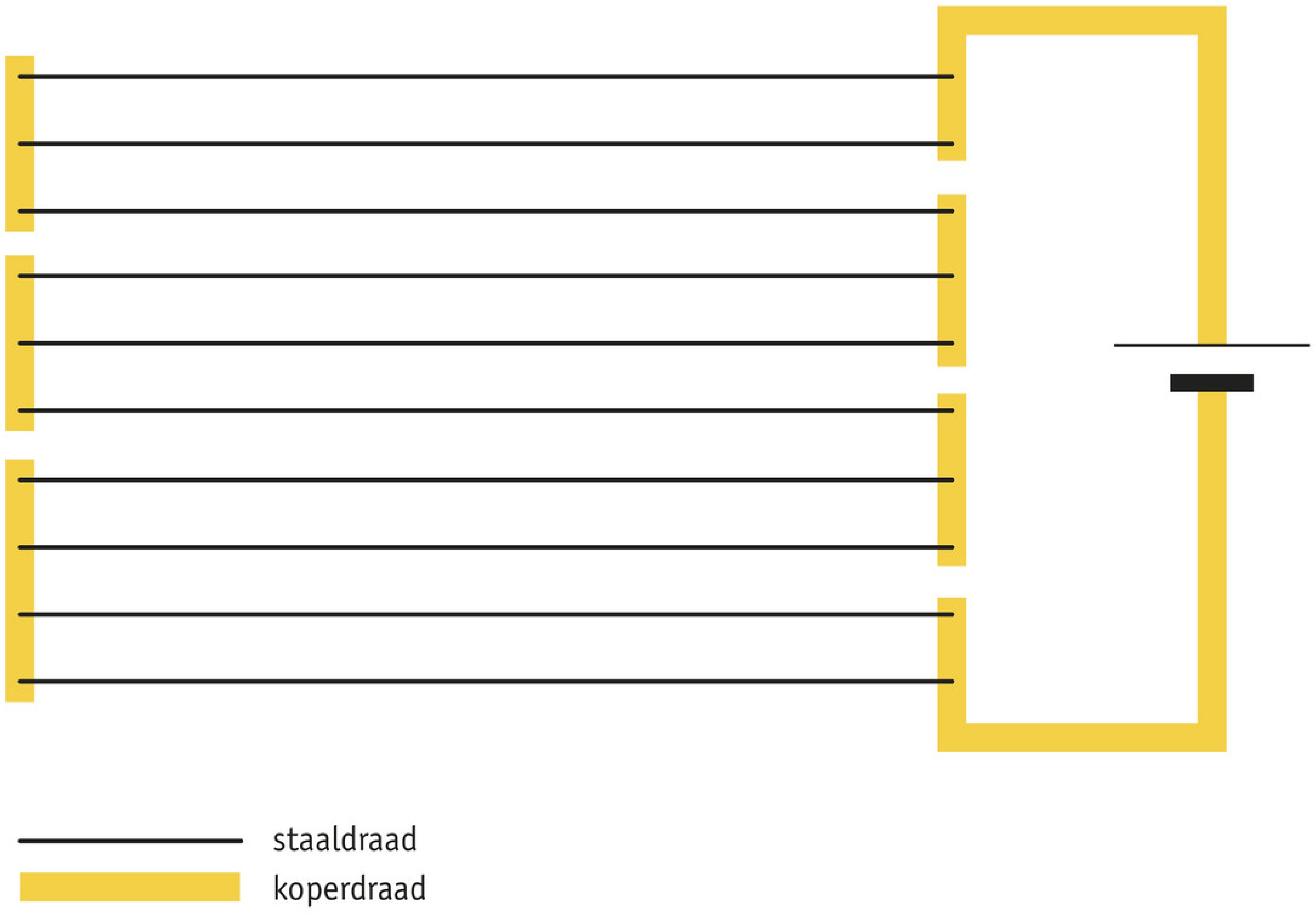

▲ **figuur 63**
de schakeling van Myra

***19** Demian heeft gezien dat de achterruitverwarming bij een auto uit een combinatie van metaaldraden bestaat. Hij besluit zelf ook eens zo'n verwarming te maken. Hiervoor knipt hij een 7,5 m lange staaldraad van 1,5 Ω in tien gelijke stukken. Daarna verbindt hij de draden door middel van dik koperdraad met een zeer lage weerstand (figuur 64).

- **a** Bereken de totale weerstand van Damians achterruitverwarming.
- **b** Damian sluit de schakeling aan op een accu van 12,0 V.
  Bereken de totale stroomsterkte door de aan- en afvoerdraden.
- **c** Al snel ontstaat er op enkele plaatsen rookontwikkeling.
  Leg uit welke twee staaldraden dan te heet geworden zijn.

***20** Een inbraakalarm heeft als sensor een draad op de ruit. Als iemand de ruit inslaat en zo de draad breekt, gaat er een zoemer af. Ook gaat er dan een rode led branden. De zoemer werkt op een spanning van 12 V, de led op een spanning van 1,2 V.

- **a** Bedenk en teken een schakelschema voor dit inbraakalarm.
- **b** Hoe groot is de spanning die de spanningsbron minstens moet leveren?
- **c** Hoe heb je ervoor gezorgd dat de led op de juiste spanning brandt?




▲ **figuur 64**
de achterruitverwarming van Damian



# SPEUREN NAAR

**Archeoloog Nils Kerkhoven heeft er plezier in. Geduldig tast hij de bodem af met zijn metaaldetector, een koptelefoon op het hoofd. Af en toe wordt zijn geduld beloond en begint zijn koptelefoon opgewonden te piepen. Dan bukt hij zich en woelt de grond om: “Hoppa, weer eentje.” Hij houdt een min of meer cirkelvormig muntje omhoog. De afgelopen weken heeft hij er al tientallen gevonden: gouden en zilveren munten uit de vroege middeleeuwen, rond het jaar 700 verstopt door een inwoner van Utrecht en nu, na meer dan dertien eeuwen, weer tevoorschijn gekomen.**

# METALEN

Op het Domplein in Utrecht wordt gegraven. Archeologen zoeken de grond zorgvuldig af op overblijfselen uit het verleden. Dat is niet de eerste keer. In 1949 zijn er op dezelfde plaats ook al opgravingen geweest. Toen zijn er maar twee munten gevonden: de schijfjes goud en zilver zijn zo klein dat je ze zonder hulpmiddelen bijna niet op kunt sporen. Maar nu is dat anders. Dankzij de metaaldetector en het geduldige zoekwerk van Nils Kerkhoven zijn er al meer dan vijftig munten verzameld. En de teller loopt nog.

## Zoeken met een metaaldetector

Een metaaldetector functioneert als verlengstuk van je zintuigen. Wat je zelf niet kunt waarnemen – een munt onder het zand bijvoorbeeld – ziet een metaaldetector wel. Op het moment dat het apparaat een interessant object detecteert, begint het te piepen. Je weet dan dat er op die plaats mogelijk een munt in de bodem zit. Je kunt zelfs aan de piepjes in de koptelefoon horen of het om een gouden of een zilveren munt gaat.

Het meest populaire type metaaldetector werkt met twee spoelen: een zendspoel en een ontvangspoel. De zendspoel produceert een magneetveld dat een eindje in de bodem doordringt. De ontvangspoel werkt als een antenne: hij registreert of er uit de bodem ook een (zwak) magneetveld terugkomt. Dit signaal wordt geanalyseerd door de elektronica in de metaaldetector die daarna een bijpassende piep produceert.

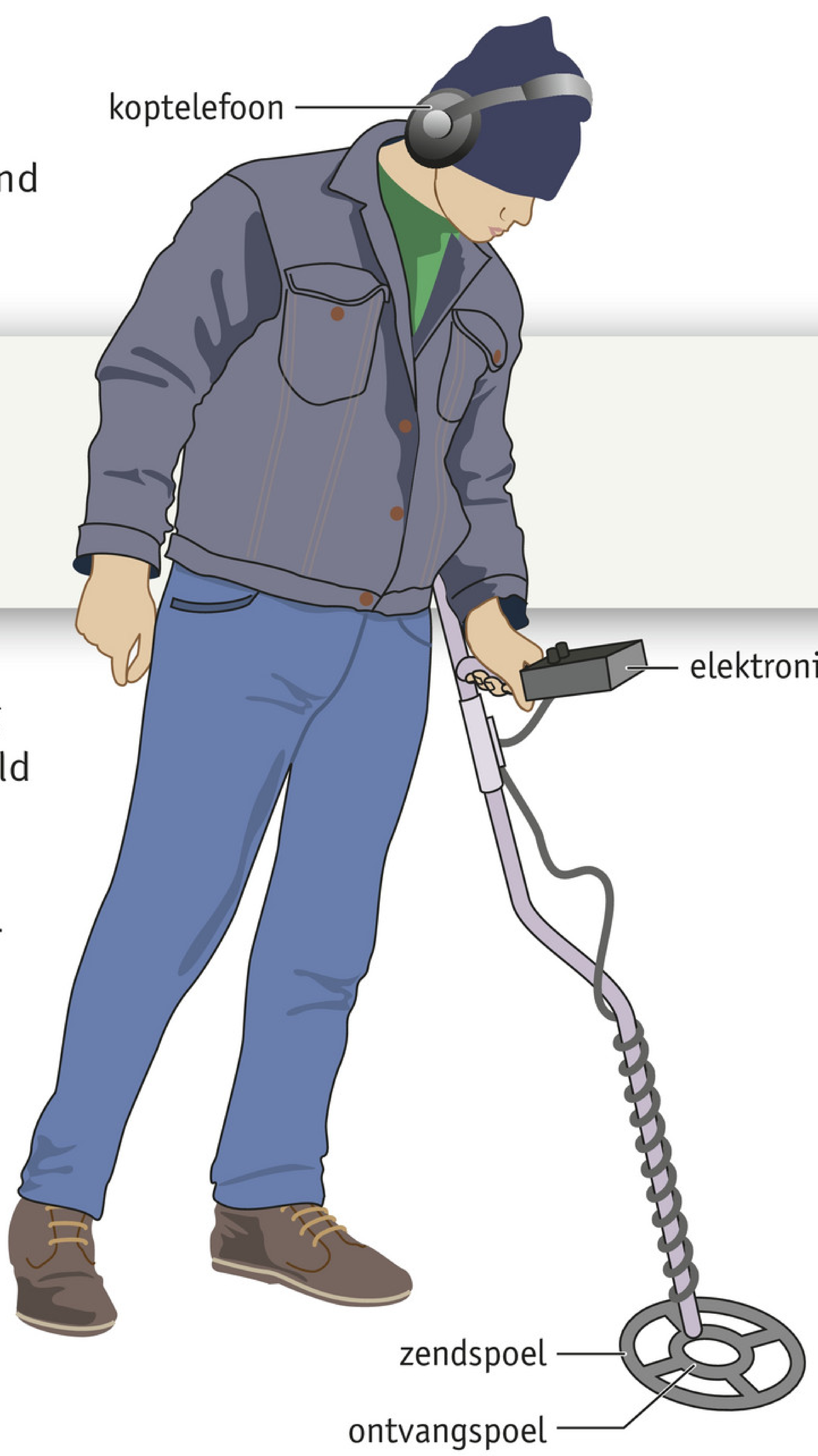
## Wervelstromen

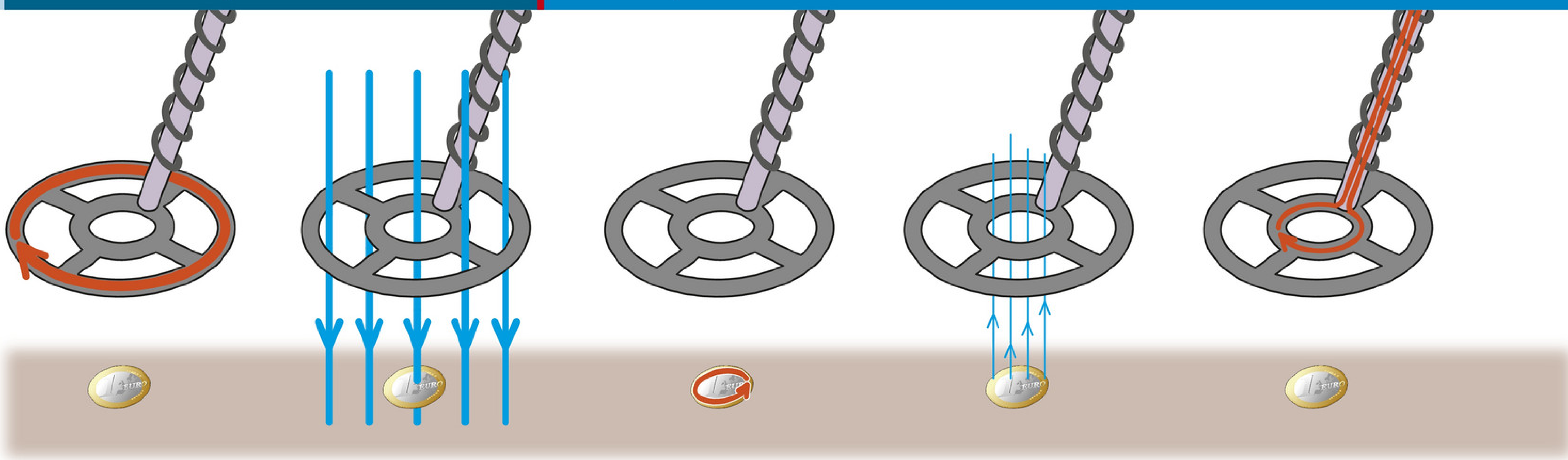
Een metaaldetector maakt slim gebruik van het feit dat je met elektriciteit magnetisme kunt opwekken – en met magnetisme elektriciteit. Het zoekproces begint met een hoogfrequente wisselstroom die door de zendspoel loopt. Door deze wisselstroom wordt een even snel veranderend magneetveld opgewekt. Elke keer dat de stroom van richting verandert, doet het magneetveld dat ook.

Als het veranderende magneetveld een metalen voorwerp bereikt, gaat er in het metaal een wervelstroom (*eddy current*) lopen. Voor deze naam is gekozen, omdat de stroom ruwweg in een cirkel ronddraait, net als een wervelwind. De wervelstroom wekt op zijn beurt ook een magneetveld op: veel zwakker dan het veld van de zendspoel en met een tegengestelde richting.

De ontvangspoel is volledig afgeschermd voor het sterke magneetveld van de zendspoel. Hierdoor 'voelt' de ontvangspoel alleen het zwakke magneetveld van de wervelstroom. Dit veld genereert een stroompje in de ontvangspoel, met dezelfde frequentie als de wisselstroom van de zendspoel. Dit stroompje vertelt de elektronica dat er een metalen voorwerp is waargenomen.

> Het is niet zo'n goed idee om ergens te gaan heien, als er nog een 1000-ponder onder het maaiveld ligt.





Door de zendspoel loopt een wisselstroom die een veranderend magneetveld opwekt. Hierdoor ontstaat er een wervelstroom in de munt die een zwak magnetisch veld opwekt, waardoor er in de ontvangspoel een zwak inductiestroompje gaat lopen.

### Kabels en bommen zoeken

Metaaldetectoren worden niet alleen gebruikt door archeologen en amateur-schatgravers. Bedrijven werken er ook mee, bijvoorbeeld om leidingen in kaart te brengen, voordat ergens gegraven wordt. Als een graafmachine een waterleidingbuis beschadigt of een elektriciteitskabel kapot trekt, kan dat flinke schadeclaims opleveren. Een check met een metaaldetector helpt voorkomen dat het zover komt.

Een andere toepassing is het zoeken naar niet-ontplofte bommen uit WO II. Als het vermoeden bestaat dat er op een bouwterrein nog bommen in de grond zitten, kan de aannemer niet zomaar aan het werk gaan. Het is niet zo'n goed idee om ergens te gaan heien, als er nog een 1000-ponder onder het maaiveld ligt. Het terrein wordt dan eerst afgezocht met een metaaldetector. Daarnaast wordt ook vaak grondradar ingezet.

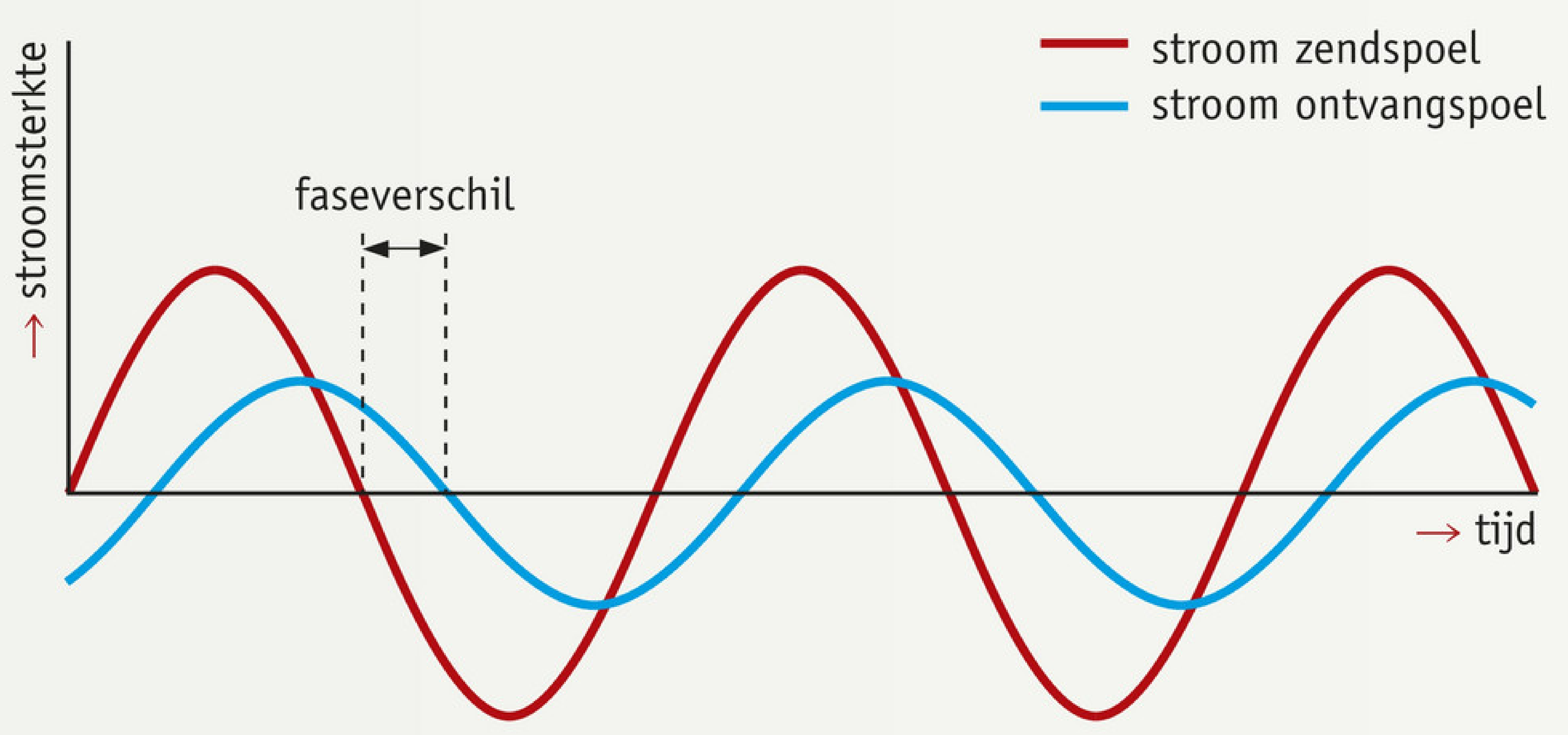
Weer een andere toepassing zijn de detectiepoortjes, waar vliegtuigpassagiers voor het vertrek doorheen lopen. Zo'n poort slaat alarm als je iets van metaal bij je hebt, of het nu een sleutelbos, een muntstuk of een steekwapen is. Het bewakingspersoneel heeft draagbare detectoren, om het metalen voorwerp snel te kunnen vinden. Die snelheid is belangrijk, want het alarm gaat vaak af. En al is het bijna altijd iets onschuldigs, de oorzaak moet wel gevonden worden voordat je door mag lopen.

### Auto's detecteren

In 'intelligente' verkeerslichten wordt een vergelijkbare detectietechniek gebruikt. Het regelsys-

## Metalen herkennen

Een wervelstroom heeft altijd even tijd nodig om op gang te komen. Dat geldt ook voor de wervelstromen die een metaaldetector genereert. De stroom in het voorwerp loopt een fractie van een seconde achter op de stroom in de zendspoel. Dit wordt een faseverschil genoemd.
Het faseverschil is niet voor alle metalen even groot. Sommige metalen reageren snel op een veranderend magneetveld, andere langzamer. Voor een zilveren muntje is het faseverschil veel groter dan voor schroefdop van aluminium. Dat heeft te maken met de elektrische eigenschappen van het metaal, bijvoorbeeld of het een goede of juist een minder goede geleider is.
Een metaaldetector gebruikt het faseverschil om verschillende metalen van elkaar te onderscheiden. De elektronica meet hoeveel het ontvangen signaal achterloopt op het verzonden signaal en concludeert daaruit om welk metaal het gaat.



teem dat dit soort verkeerslichten aanstuurt, kan zien of er auto's voor de stopstrepen staan en past het regelgedrag daarop aan. Een automobilist krijgt bijvoorbeeld meteen groen licht, als er geen andere auto's staan te wachten.



De sensor van zo'n 'intelligente' verkeerslichteninstallatie is een rechthoekige lus van geïsoleerd draad, die in het wegdek wordt ingebed. Om zo'n detectielus aan te brengen, wordt eerst een groef in het asfalt gefreesd. Wegwerkers leggen de draad erin en maken de groef daarna weer dicht. Je kunt het litteken vaak nog een hele tijd zien, tot het wegdek opnieuw wordt geasfalteerd.

De detectielus wekt een wervelstroom op in de metalen onderkant van een auto, als die zich recht boven de lus bevindt. Dit gebeurt op dezelfde manier als bij een metaaldetector, door een hoogfrequente wisselstroom door de detectielus te laten lopen. Het magneetveld van de wervelstroom beïnvloedt de stroom door de detectielus. Hieruit leidt de regelelektronica af dat er zich een auto boven de lus bevindt.

## Een succesvolle technologie

Het perfecte detectiesysteem ziet onder alle omstandigheden wat het moet zien, kan niet misleid worden, heeft geen last van storingen en is niet kapot te krijgen. Zo'n systeem ontwerp je niet zomaar: er zijn betrouwbare sensoren voor nodig én slimme elektronica die met alles rekening houdt. En al heeft ieder ontwerp zijn beperkingen, sommige detectiesystemen komen wel een flink eind in de goede richting – zoals de verschillende varianten op de metaaldetector dagelijks laten zien.

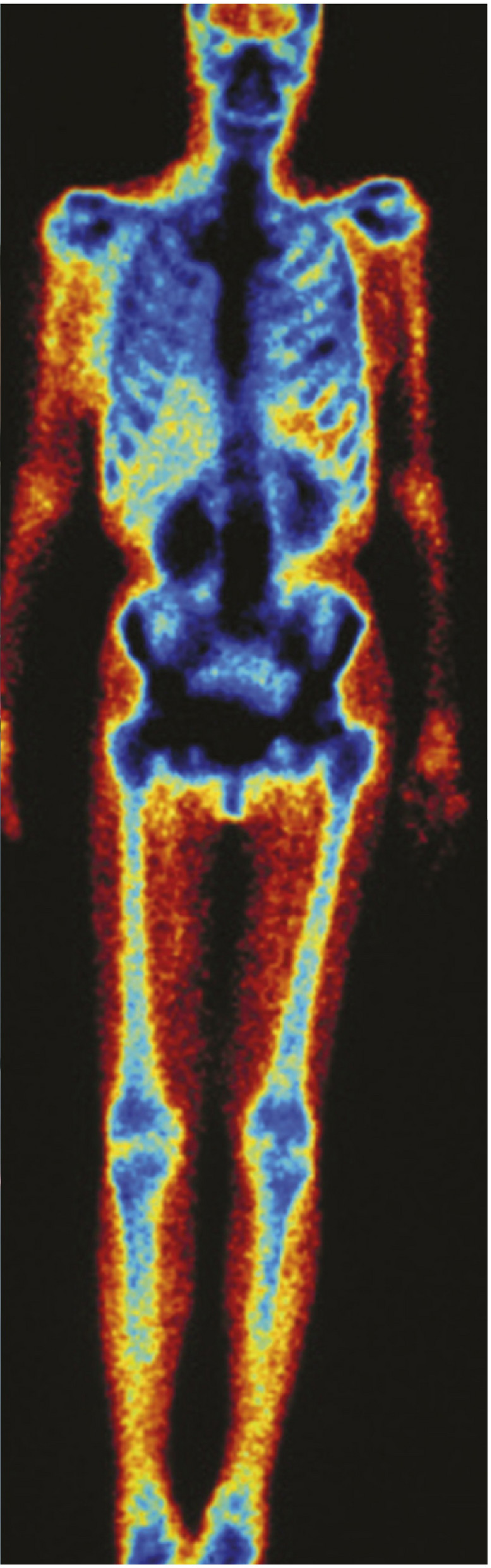
### Opgaven

**1** Je kunt begraven munten opsporen met een metaaldetector.
Leg uit of het voor het opsporen ook uitmaakt:
- **a** hoe groot de munt is.
- **b** hoe diep de munt onder de grond zit.
- **c** van welk soort metaal de munt gemaakt is.
- **d** of de munt plat in de grond ligt of rechtop (op de rand) staat.

**2** Metaaldetectoren worden in de voedingsindustrie gebruikt om producten te scannen.
- **a** Wat voor 'voedingsvreemde bestanddelen' kunnen op die manier gedetecteerd worden?
- **b** Om wat voor 'bestanddelen' zou het kunnen gaan? Bedenk zelf een voorbeeld.

**3** Zoek op internet informatie over de detectielussen in snelwegen.
- **a** Hoeveel van die snelwegdetectielussen zijn er bij benadering in ons land?
- **b** Leg uit hoe je met detectielussen de snelheid van een auto kunt bepalen.
- **c** Voor welke doelen worden de gegevens van de detectielussen verzameld?
- **d** Hoe komt het dat de detectielussen motorrijders soms over het hoofd zien?





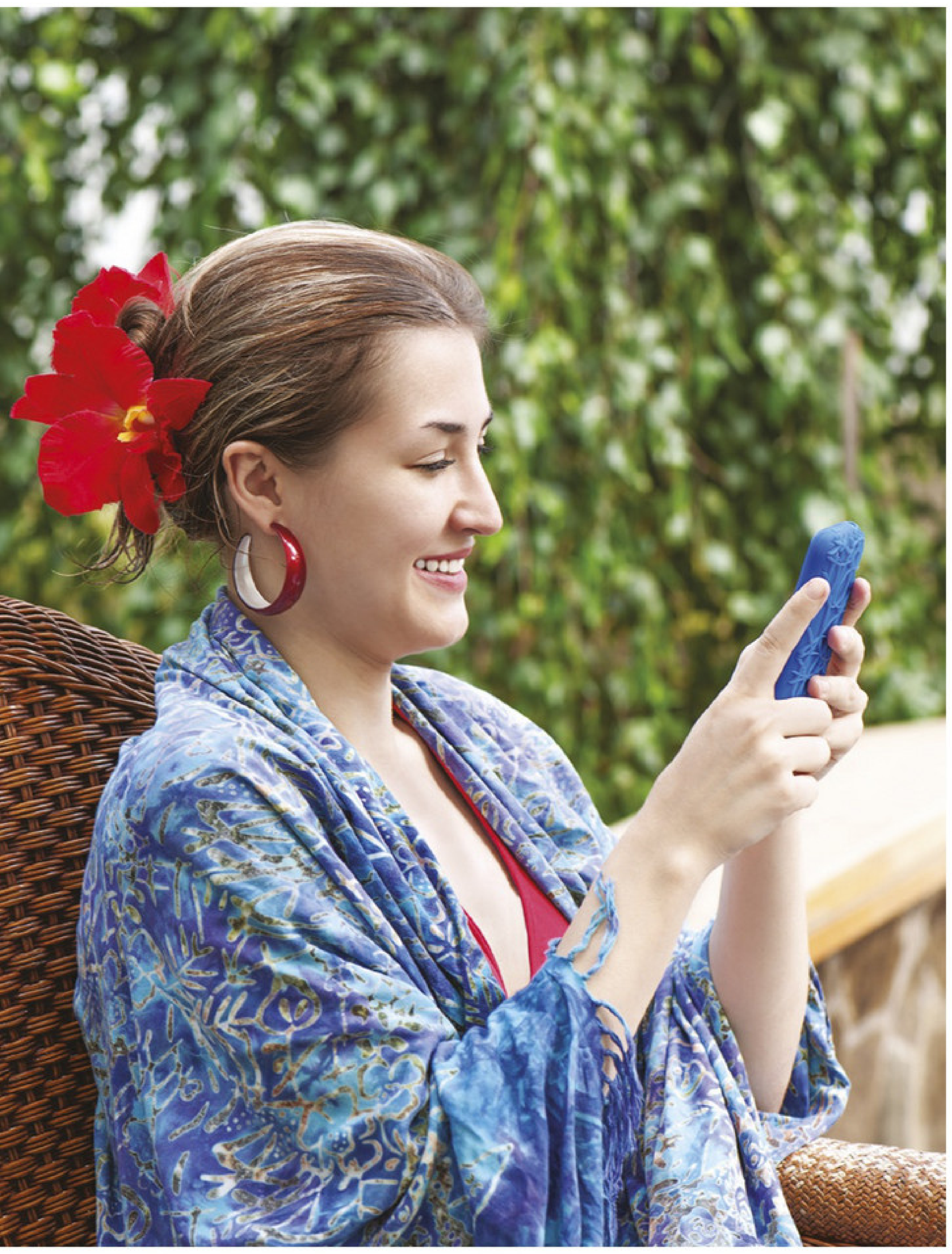
# 7

# Radioactiviteit

## Werken met ioniserende straling

**Radioactieve stoffen zenden straling uit. Deze straling wordt in ziekenhuizen gebruikt om ziekten op te sporen en te behandelen. Daarbij gelden strenge veiligheidsregels, want de straling kan gezonde mensen ook ziek maken.**

# 1 Soorten straling



▲ **figuur 1**
zenden met je telefoon

**Veel mensen denken bij het woord 'straling' aan kernenergie en radioactiviteit. Maar er zijn veel meer soorten straling. Je telefoon is ook een stralingsbron, net als de magnetron en de afstandsbediening. Zelfs je lichaam zendt voortdurend infrarode straling uit.**

## Zenden en ontvangen

Je kunt je telefoon alleen gebruiken als je 'bereik' hebt. Er moet een zendmast in de buurt zijn waarmee je telefoon kan communiceren. Tussen de antenne van je telefoon en de antenne op de zendmast wordt dan voortdurend informatie uitgewisseld. De zendmast communiceert op zijn beurt ook met andere zendmasten verderop.

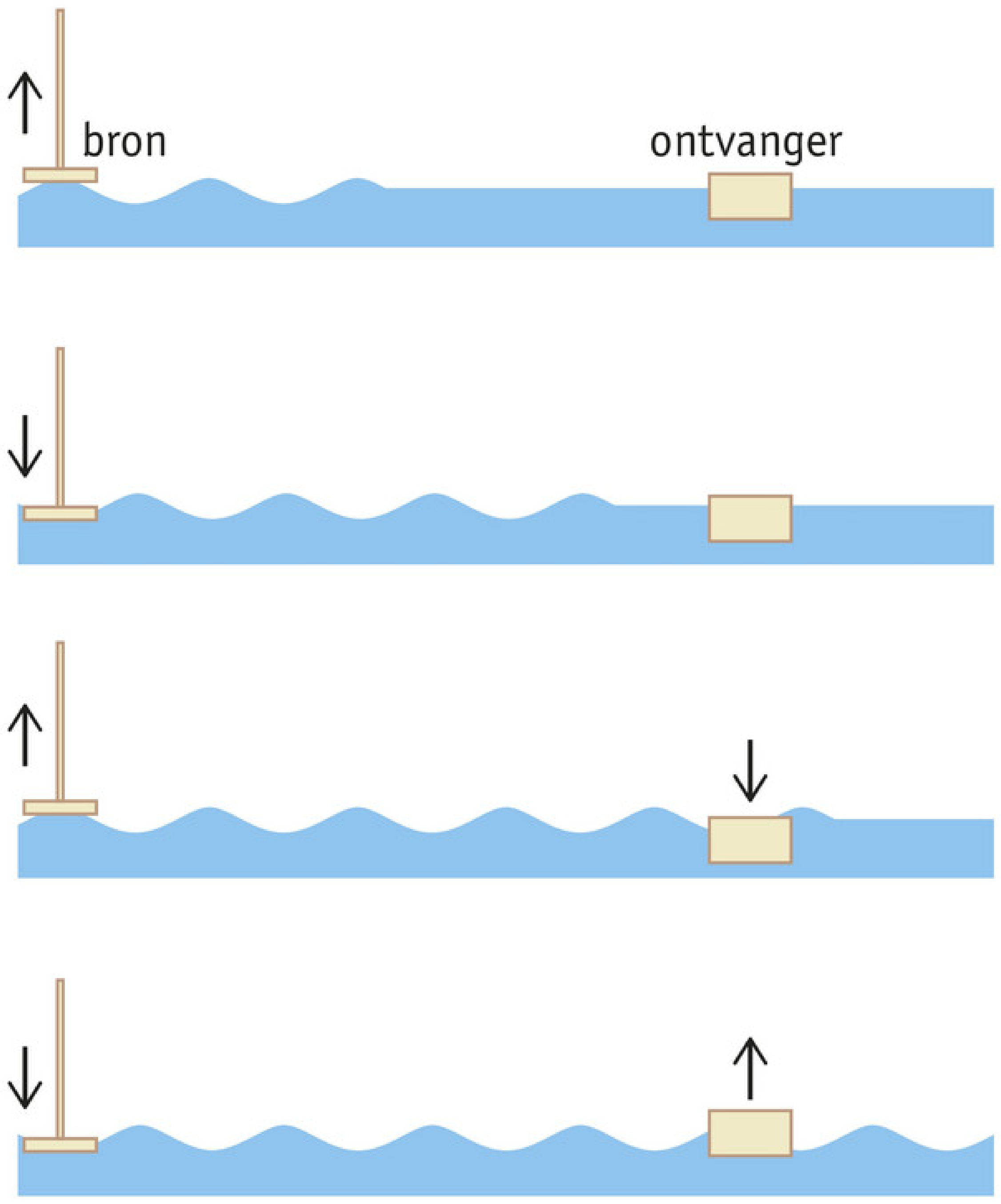
Als je telefoon aan het zenden is, loopt er een wisselstroom door de antenne (figuur 1). De elektronen in de antenne bewegen met een hoge frequentie op en neer. Door die beweging ontstaan er **elektromagnetische golven** die met een snelheid van bijna 300 000 km/s bij de antenne vandaan bewegen.

Als de elektromagnetische golven bij de zendmast aankomen, komen de elektronen daar ook in beweging: de elektronen in de zendmastantenne gaan net zo op en neer bewegen als de elektronen in de telefoonantenne. Er ontstaat een wisselstroom met dezelfde frequentie als de wisselstroom in de telefoonantenne.

In de communicatie met je telefoon gaat alles digitaal: de informatie is gecodeerd als een lange reeks nullen en enen. Een telefoon springt daarom steeds heen en weer tussen twee frequenties als hij informatie verzendt: de ene frequentie is voor de nullen, de andere frequentie voor de enen.

## Golflengte en frequentie

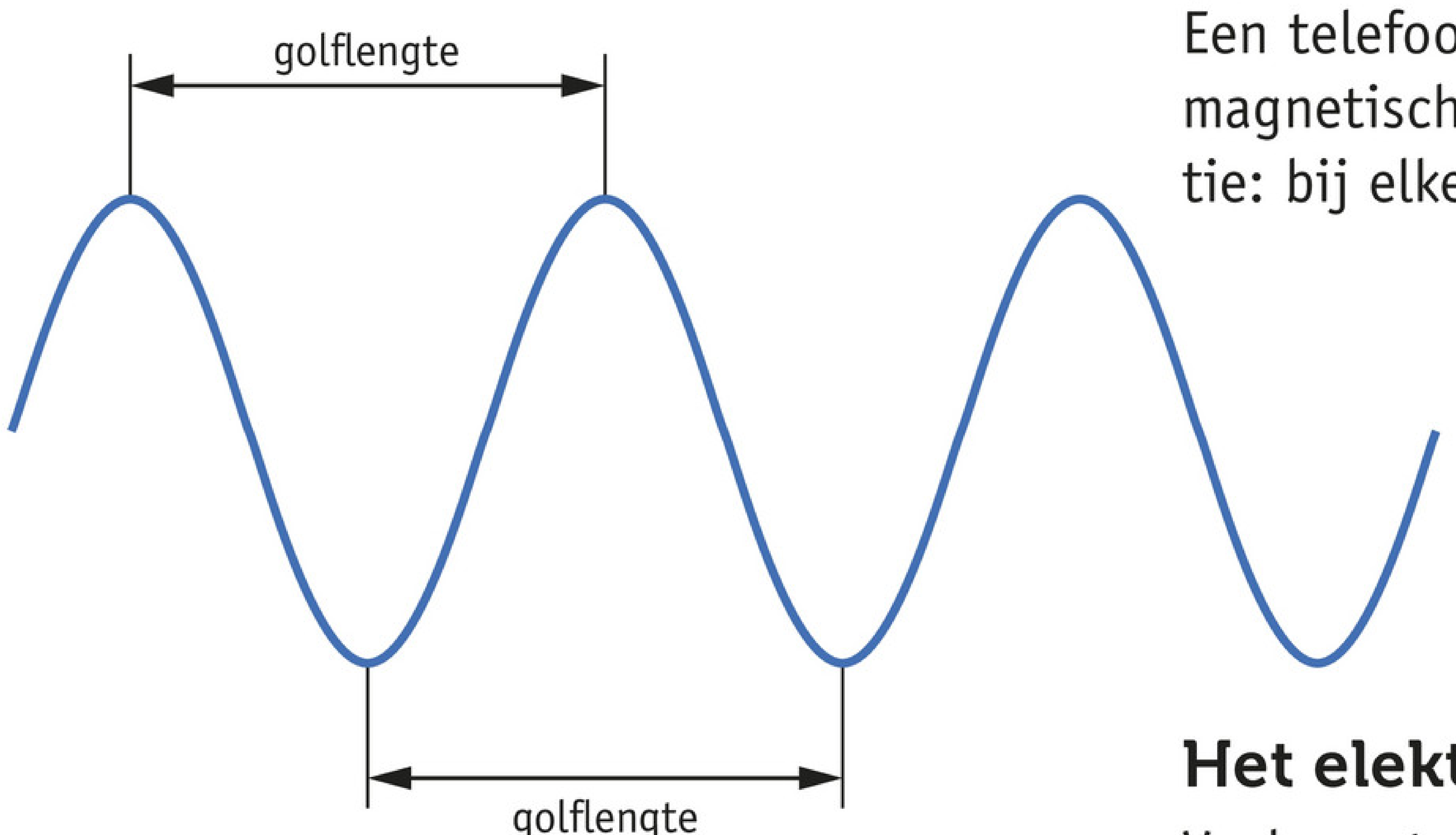
Elektromagnetische golven bewegen net als watergolven bij de bron vandaan. In figuur 2 is getekend hoe dat bij watergolven gaat. De 'bron' is een voorwerp dat op en neer gaat en zo het water in beweging brengt. De 'ontvanger' is een houten blokje dat op en neer gaat bewegen, als de golven bij het blokje arriveren. Op dezelfde manier communiceert een telefoon met een zendmast – en omgekeerd.




◀ **figuur 2**
van bron naar ontvanger

Maar behalve overeenkomsten zijn er natuurlijk ook grote verschillen:
- Elektromagnetische golven bewegen niet in één vlak, zoals watergolven, maar kunnen alle kanten op bewegen.
- Elektromagnetische golven zijn geen trillingen in een stof zoals water, maar planten zich zelfstandig voort, ook door een vacuüm.
- Elektromagnetische golven hebben in het vacuüm altijd dezelfde snelheid, ongeacht de frequentie: 299 792 458 ≈ $3{,}0 \cdot 10^8$ m/s. Deze snelheid wordt de **lichtsnelheid** genoemd.

Het aantal golven dat per seconde ontstaat, wordt de frequentie genoemd. De afstand tussen twee golftoppen (of golfdalen) noem je de **golflengte** (figuur 3). Het symbool voor de golflengte is $\lambda$, de Griekse letter labda. Een telefoon gebruikt golven met een lengte van 10 à 40 cm. Bij elektromagnetische golven is er een vast verband tussen golflengte en frequentie: bij elke golflengte hoort één frequentie en omgekeerd.



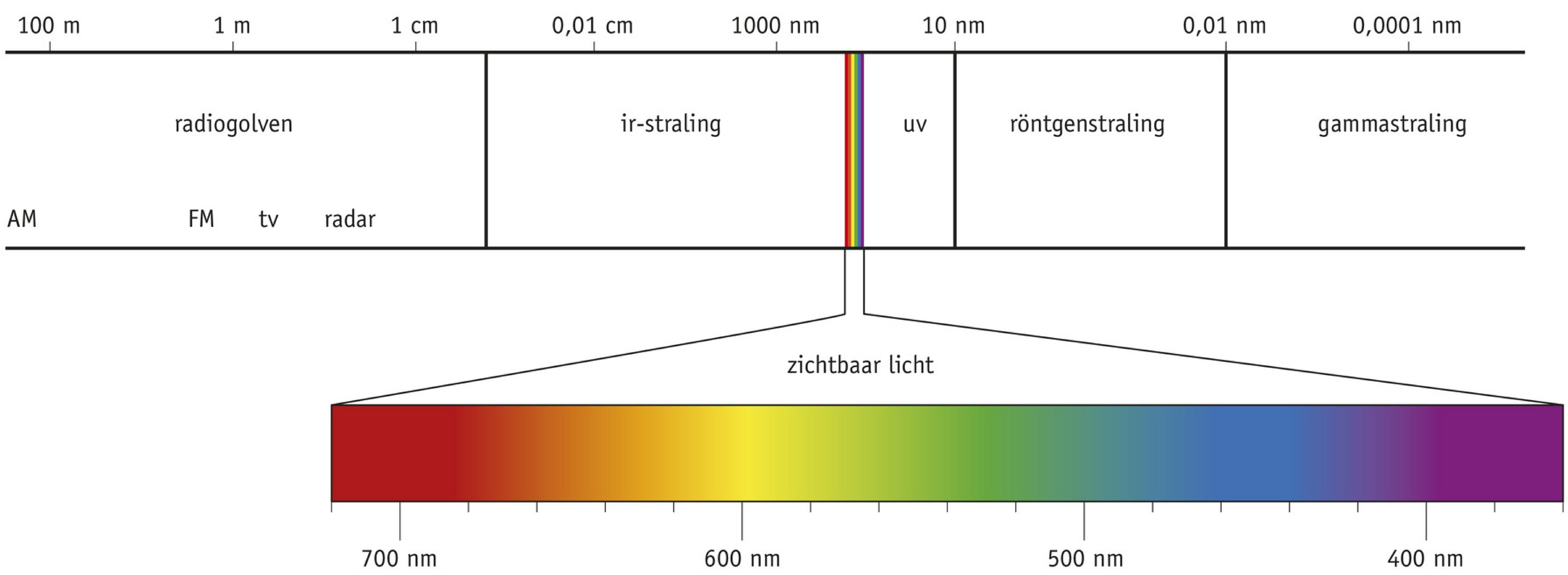

▲ **figuur 3**
de lengte van een golf

## Het elektromagnetisch spectrum

Veel soorten straling bestaan uit elektromagnetische golven. Licht bijvoorbeeld is een elektromagnetisch golfverschijnsel, met golflengtes tussen 380 en 780 nm (1 nm = 1 nanometer = $10^{-9}$ m). Andere vormen van **elektromagnetische straling** zijn radiogolven, infrarood, ultraviolet, röntgen- en gammastraling.

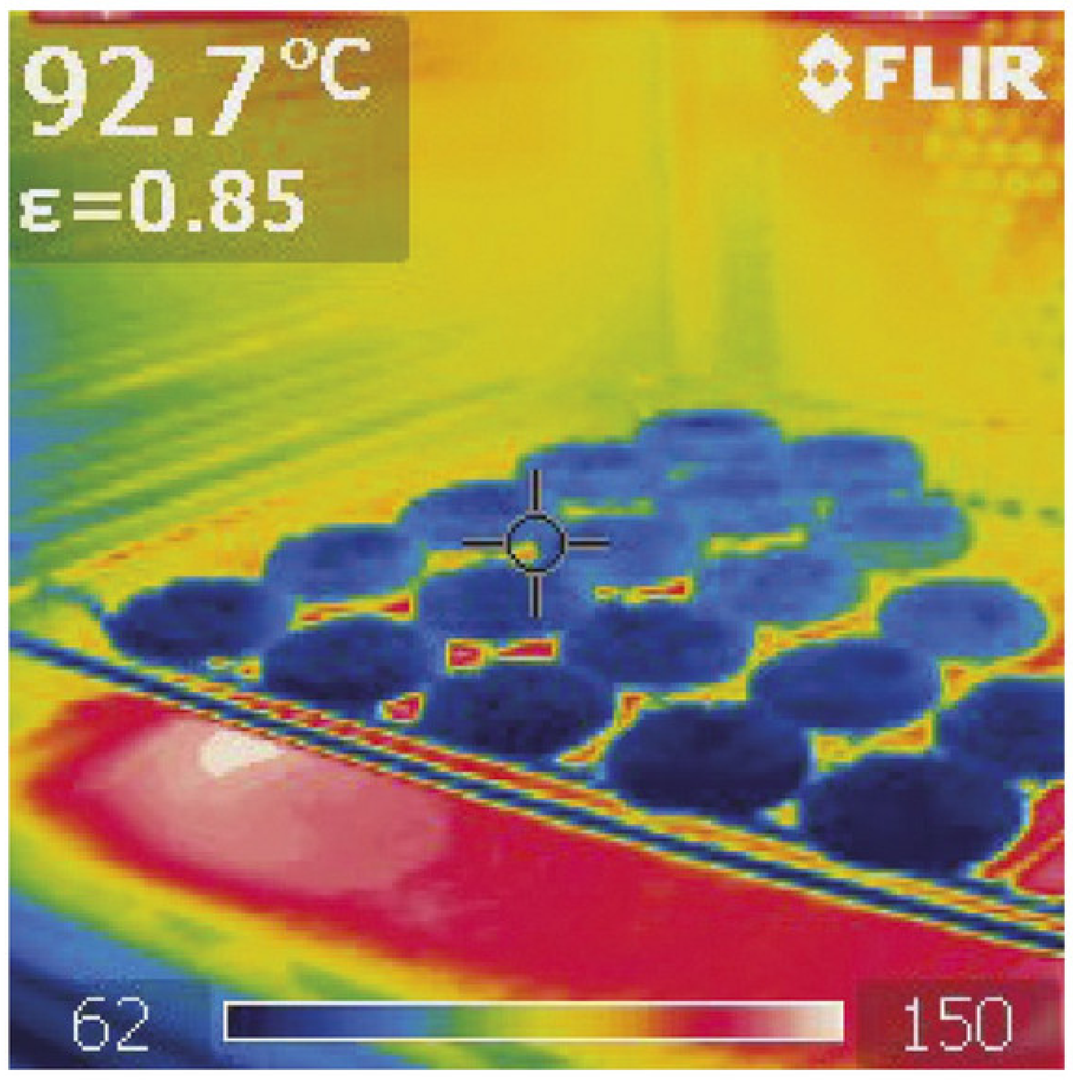
In figuur 4 zijn de verschillende soorten elektromagnetische straling geordend op golflengte. Op die manier ontstaat een elektromagnetisch spectrum, van radiogolven tot gammastraling. Het spectrum van licht, van diep rood (780 nm) tot ver violet (380 nm), is hier maar een heel klein onderdeel van.

▼ **figuur 4**
van radiogolven tot gammastraling



De eigenschappen van elektromagnetische straling worden bepaald door de golflengte. Je ziet dat in het spectrum van licht. Zoals in figuur 4 is getekend, heeft elke spectraalkleur zijn eigen golflengte. Rood licht heeft de grootste golflengte, violet licht de kortste. Als je de golflengte kent, weet je ook welke kleur het licht heeft.

Licht is de enige soort elektromagnetische straling dat je kunt zien. Je ogen zijn gevoelig voor de kleuren van 'gewoon' licht: van rood tot violet. Alle andere vormen van straling zijn – voor mensen tenminste – onzichtbaar. Je kunt ze alleen waarnemen met speciale instrumenten, zoals een camera waarmee je infraroodfoto's kunt maken (figuur 5).






▲ **figuur 5**
Infraroodfoto's worden gebruikt voor kwaliteitscontroles in de voedingsindustrie.

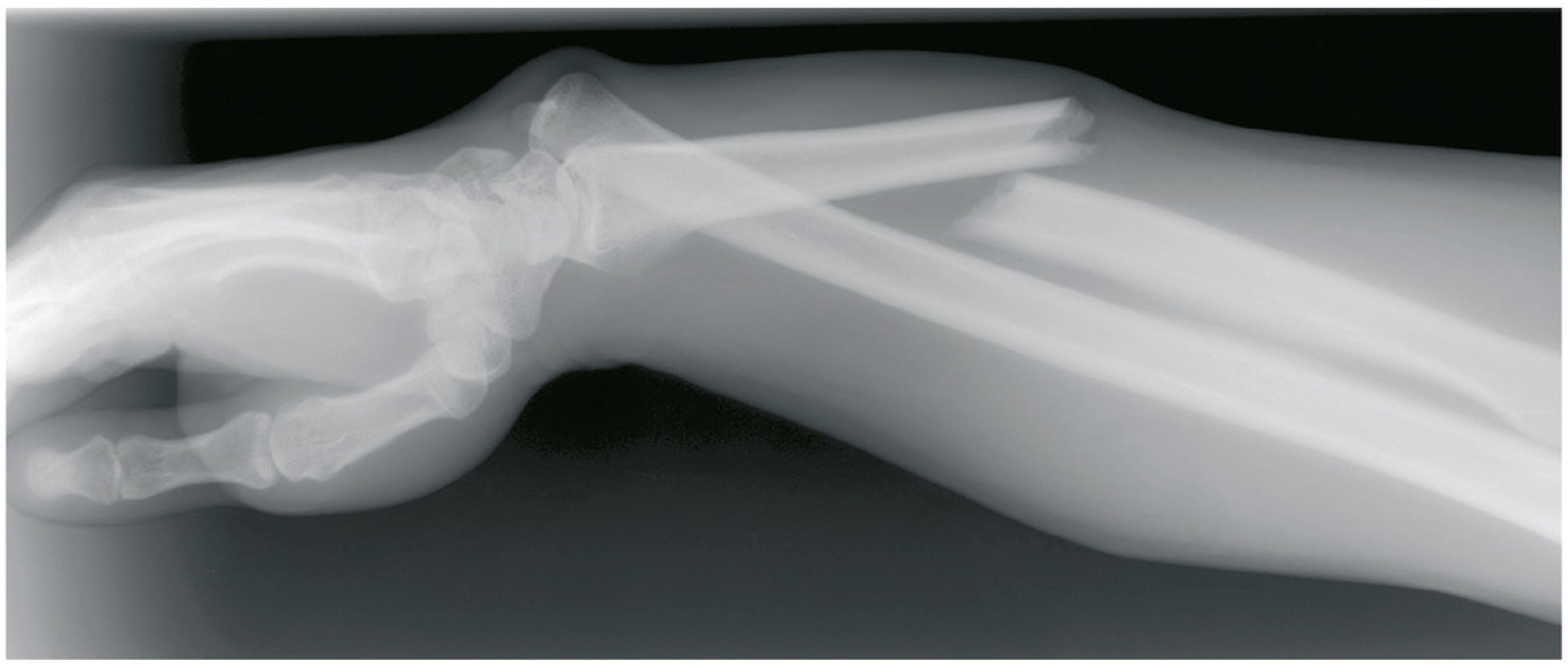
## Doorlaten, absorberen en reflecteren

Als elektromagnetische straling op een voorwerp valt, kunnen er drie dingen gebeuren:

- De straling kan **doorgelaten** worden. Dat zie je bij zonlicht dat door een glazen ruit heen beweegt.
- De straling kan **gereflecteerd** worden. Dat zie je als licht wordt weerkaatst door een spiegel of een witte muur.
- De straling kan **geabsorbeerd** worden. Dat zie je als een dik zwart gordijn het licht 'opslokt' en omzet in warmte.

Je lichaam absorbeert de verschillende soorten straling niet even sterk. Radiogolven gaan bijvoorbeeld dwars door je lichaam heen, terwijl licht wordt tegengehouden. **Röntgenstraling** wordt door de botten sterk geabsorbeerd, terwijl je spieren en vetweefsel de straling bijna ongehinderd doorlaten. Van die eigenschap wordt gebruikgemaakt in een röntgenapparaat.

Bij het maken van een röntgenfoto valt er röntgenstraling op een lichaamsdeel van de patiënt. Achter het lichaamsdeel ontstaat dan een schaduwbeeld, dat je kunt vastleggen. Achter de botten is veel 'schaduw', achter de spieren weinig (figuur 6). Omdat het beeld een negatief is – licht en donker zijn omgekeerd – zijn de schaduwen wit in plaats van zwart.



▶ **figuur 6**
Op een röntgenfoto is een schaduw van de botten te zien.

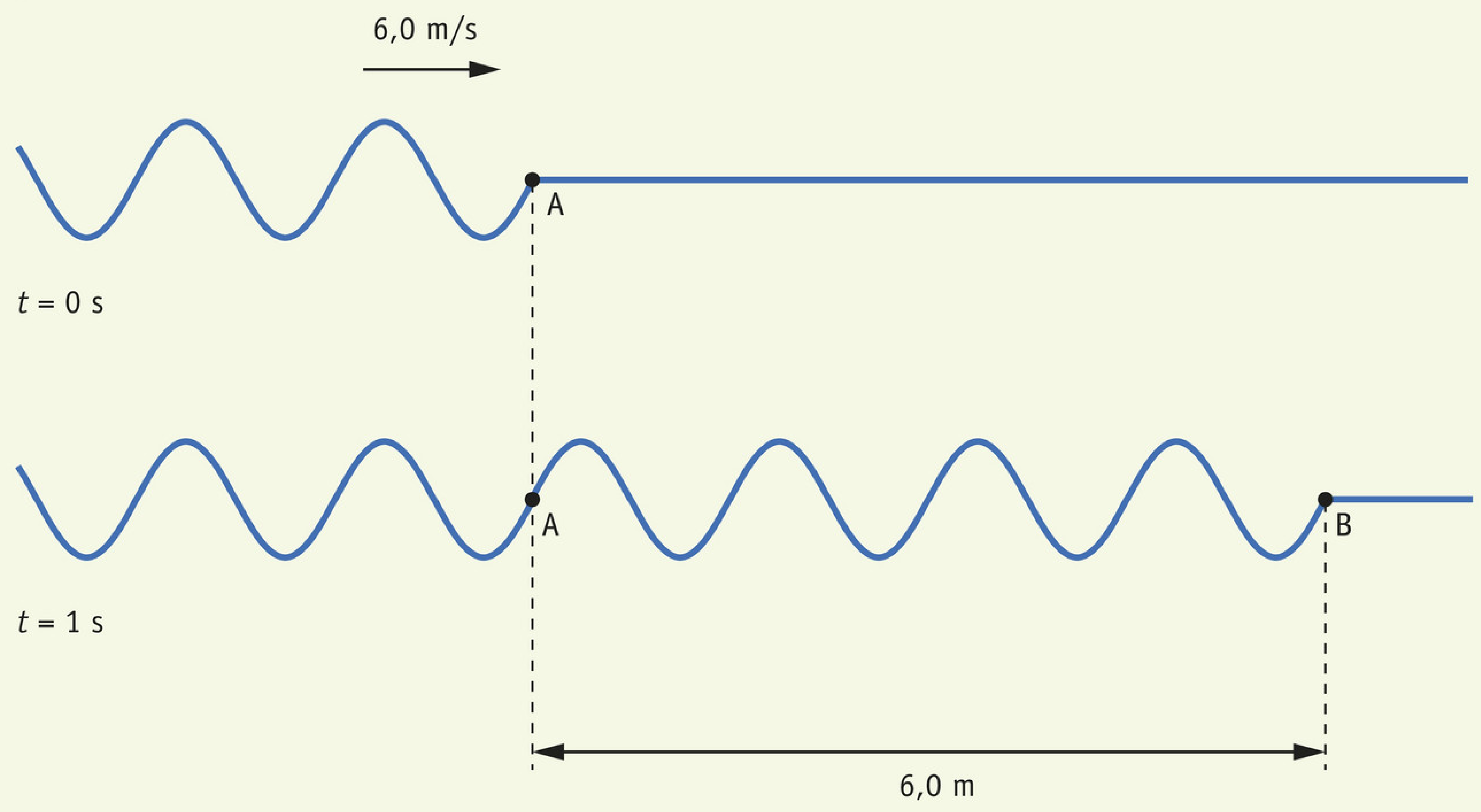
## Plus Golflengte en frequentie

Elke golfbeweging heeft een frequentie, een golflengte en een voortplantingssnelheid. Tussen deze grootheden bestaat een vast verband (figuur 7). Je kunt de golflengte vinden door de voortplantingssnelheid (de afgelegde afstand per seconde) te delen door de frequentie (het aantal golven per seconde). Zo vind je de afstand per golf = de golflengte. In formulevorm:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Als je de voortplantingssnelheid $c$ invult in m/s en de frequentie $f$ in Hz, vind je de golflengte $\lambda$ in m.

▼ **figuur 7**
Ga zelf na dat de golflengte van deze golfbeweging 6,0 : 4 = 1,5 m is.




***Voorbeeldopgave 1***
Een laser straalt blauw licht uit met een golflengte van 470 nm.
Bereken de frequentie van deze elektromagnetische straling.

gegevens $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s
$\lambda = 470$ nm $= 470 \cdot 10^{-9}$ m

gevraagd $f = ?$

uitwerking $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3{,}0 \cdot 10^8}{470 \cdot 10^{-9}} = 6{,}4 \cdot 10^{14}$ Hz

## opgaven Leerstof

**1** Beantwoord de volgende vragen.
**a** Hoe worden de elektromagnetische golven opgewekt die een telefoon uitzendt?
**b** Met welke snelheid bewegen elektromagnetische golven door een vacuüm?
**c** Welke soorten straling hebben een langere golflengte dan (zichtbaar) licht?
**d** Welk soort straling heeft een golflengte die tussen 10 nm en 0,01 nm in ligt?
**e** Welke drie dingen kunnen er gebeuren met straling die op een voorwerp valt?

**2** Je lichaam is doorzichtig voor sommige soorten straling en ondoorzichtig voor andere.
Welk soort elektromagnetische straling:
**a** beweegt ongehinderd dwars door je lichaam heen?
**b** gaat wel door je spieren, maar niet door je botten?
**c** wordt door je lichaam volledig tegengehouden?

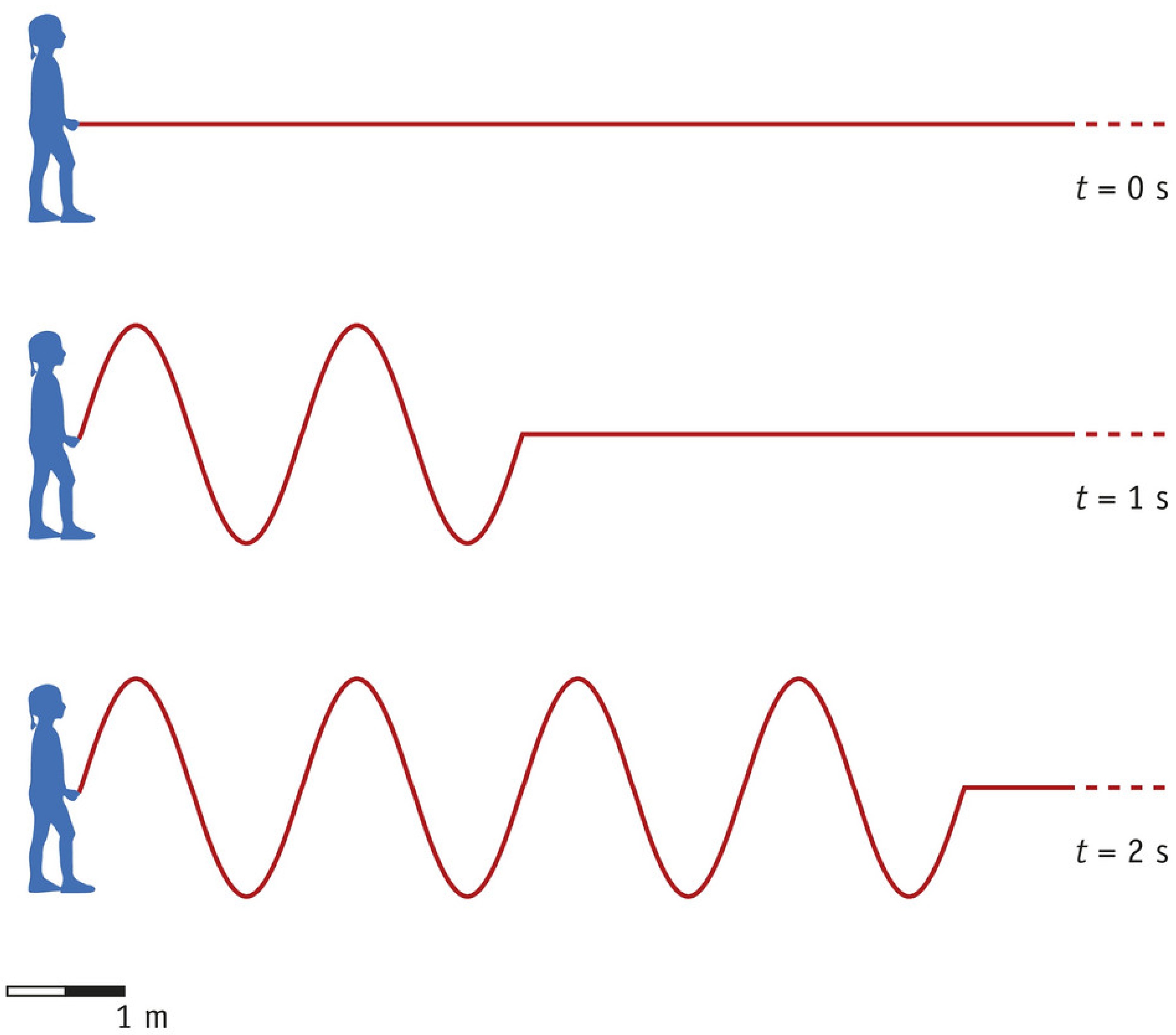
## Toepassing

**3** In de wereld om je heen kom je allerlei stralingsbronnen tegen.
Neem tabel 1 over en maak het overzicht af.

**4** Ilse veroorzaakt een golfbeweging in een springtouw door het ene uiteinde op en neer te bewegen. Het andere uiteinde heeft ze aan een muur vastgemaakt.
Bepaal met behulp van de gegevens in figuur 8:
**a** de frequentie.
**b** de golflengte.
**c** de snelheid van de golfbeweging.

▼ **tabel 1** vijf stralingsbronnen

| voorbeeld van een stralingsbron | soort straling |
|---|---|
| | radiogolven |
| radiator van een cv | |
| | (zichtbaar) licht |
| | ultraviolette straling |
| röntgenapparaat | |




▶ **figuur 8**
een golf in een touw

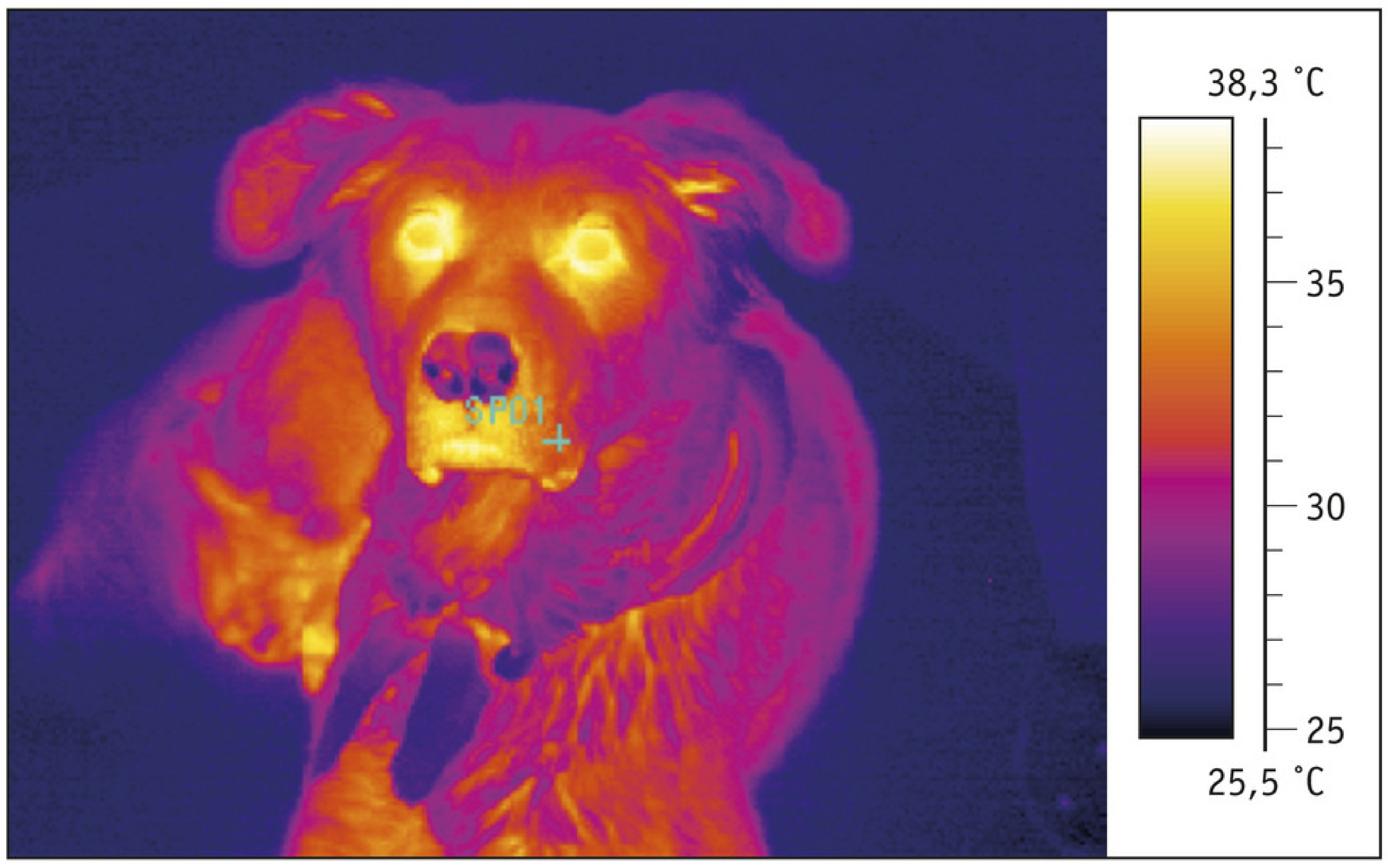
**5** Een radiosignaal doet er tussen de 3 en 21 minuten over om de afstand tussen de planeet Mars en de aarde te overbruggen.
- **a** Hoe komt het dat de benodigde tijd zo verschillend kan zijn? Leg duidelijk uit.
- **b** Toen de rover *Curiosity* op 6 augustus 2012 op Mars landde, deed een radiosignaal er 13 minuten en 48 seconden over om van Mars naar de aarde te reizen.
  Bereken hoe groot de afstand tussen Mars en de aarde op dat moment was. Geef het antwoord in miljoenen kilometers.

**6** De straling die een laser uitzendt, heeft één vaste golflengte. Er zijn verschillende soorten lasers die allemaal hun eigen golflengte hebben. In tabel 2 zie je zes voorbeelden.
- **a** Noteer van elke laser wat voor soort straling hij uitzendt.
- **b** Noteer van de lasers die zichtbaar licht uitzenden, ook welke (spectraal)kleur het licht heeft.

▼ **tabel 2** zes soorten lasers

| soort laser | golflengte (nm) |
|---|---|
| argon | 1090 |
| helium-cadmium | 442 |
| koper | 511 |
| krypton fluoride | 248 |
| robijn | 694 |
| stikstof | 337 |

**7** Bekijk de infraroodfoto in figuur 9.
- **a** Welke lichaamsdelen van de hond hebben de hoogste temperatuur?
- **b** Hoe hoog is deze temperatuur ongeveer?
- **c** Welk lichaamsdeel van de hond heeft de laagste temperatuur?
- **d** Een infraroodcamera levert 's nachts vaak duidelijker beelden dan overdag.
  Leg uit hoe dat komt.



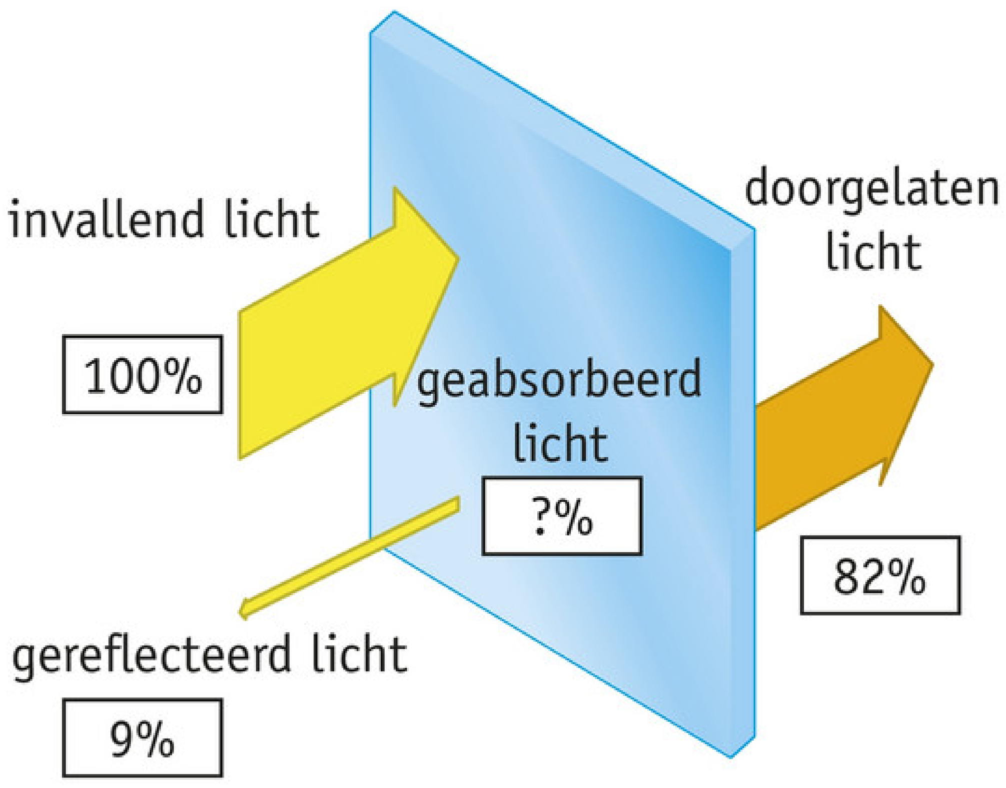

▶ **figuur 9**
een hond in infrarood



▲ **figuur 10**
een röntgenfoto die in het ziekenhuis gemaakt is

**8** In figuur 10 zie je een röntgenfoto van het hoofd en de hals van een man.
- **a** Wat absorbeert de meeste röntgenstraling: de kleding, de spieren of de beenderen?
- **b** Wat heeft de man in zijn keel zitten?
- **c** Hoe komt het dat dit voorwerp zo goed zichtbaar is? Leg uit.

***9** Een fabriek produceert vensterglas voor grote gebouwen. In figuur 11 zie je wat een veelgebruikte glassoort doet met het invallende zonlicht.
- **a** Welk percentage van het zichtbaar licht wordt geabsorbeerd door dit soort glas?
- **b** Bij een proef worden drie van dit soort ruiten achter elkaar geplaatst. Toon aan dat de hoeveelheid straling die wordt doorgelaten, minimaal gelijk is aan 55%.
- **c** Het glas kan door de fabriek voorzien worden van een dunne coating (toplaag) die een deel van het opvallende licht weerkaatst.
  Welk effect heeft de coating op de hoeveelheid:
  - geabsorbeerd licht?
  - doorgelaten licht?
  - gereflecteerd licht?
- **d** In een kantoor wordt het te warm, als de zon 's zomers vol op de ruiten schijnt.
  Helpt het dan om het gewone glas te vervangen door glas met een coating? Of maakt dat het probleem alleen maar groter? Leg uit.




▲ **figuur 11**
Een ruit laat straling door, reflecteert straling en absorbeert straling.

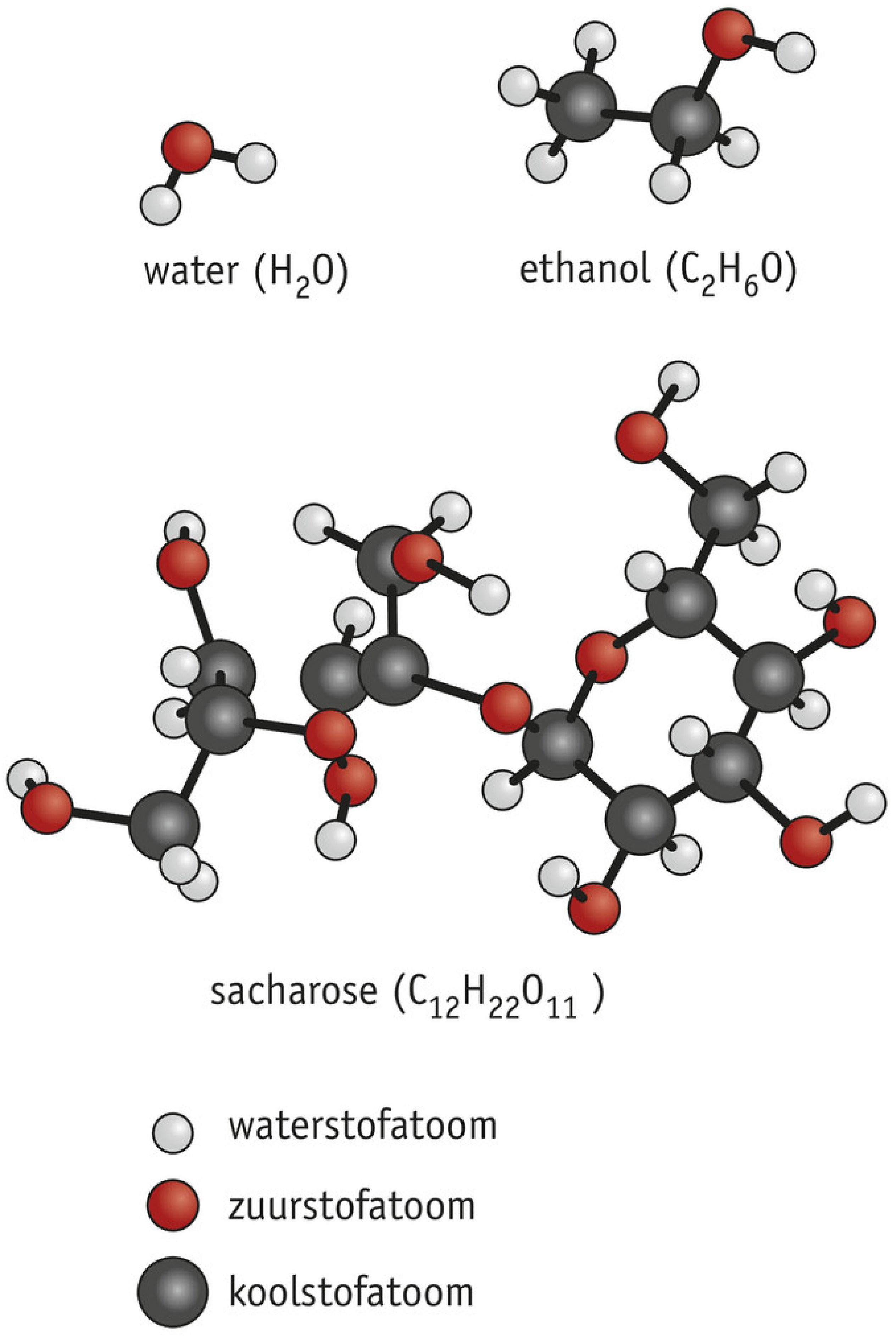
## Plus Golflengte en frequentie

**10** Bereken de frequentie van:
- **a** radiogolven met een golflengte van 10 cm.
- **b** ir-straling met een golflengte van 0,01 cm.
- **c** groen licht met een golflengte van 500 nm.
- **d** röntgenstraling met een golflengte van 1 nm.

***11** Myriam leest op de website van Radio Rijnmond: "Sinds 1 juli zenden wij uit op 93,4 MHz."
- **a** Bereken de golflengte van de radiogolven die de programma's van Radio Rijnmond verspreiden.
- **b** Is Radio Rijnmond een AM- of een FM-zender? Leg uit hoe je aan je antwoord komt.

# 2 Atomen

**Er bestaan erg veel zuivere stoffen: het aantal loopt in de vele miljoenen. Er zijn dus ook miljoenen verschillende moleculen. Scheikundigen hebben ontdekt dat al die moleculen zijn opgebouwd uit iets meer dan honderd verschillende bouwstenen. Deze bouwstenen worden atomen genoemd.**




▲ **figuur 12**
drie modellen van moleculen

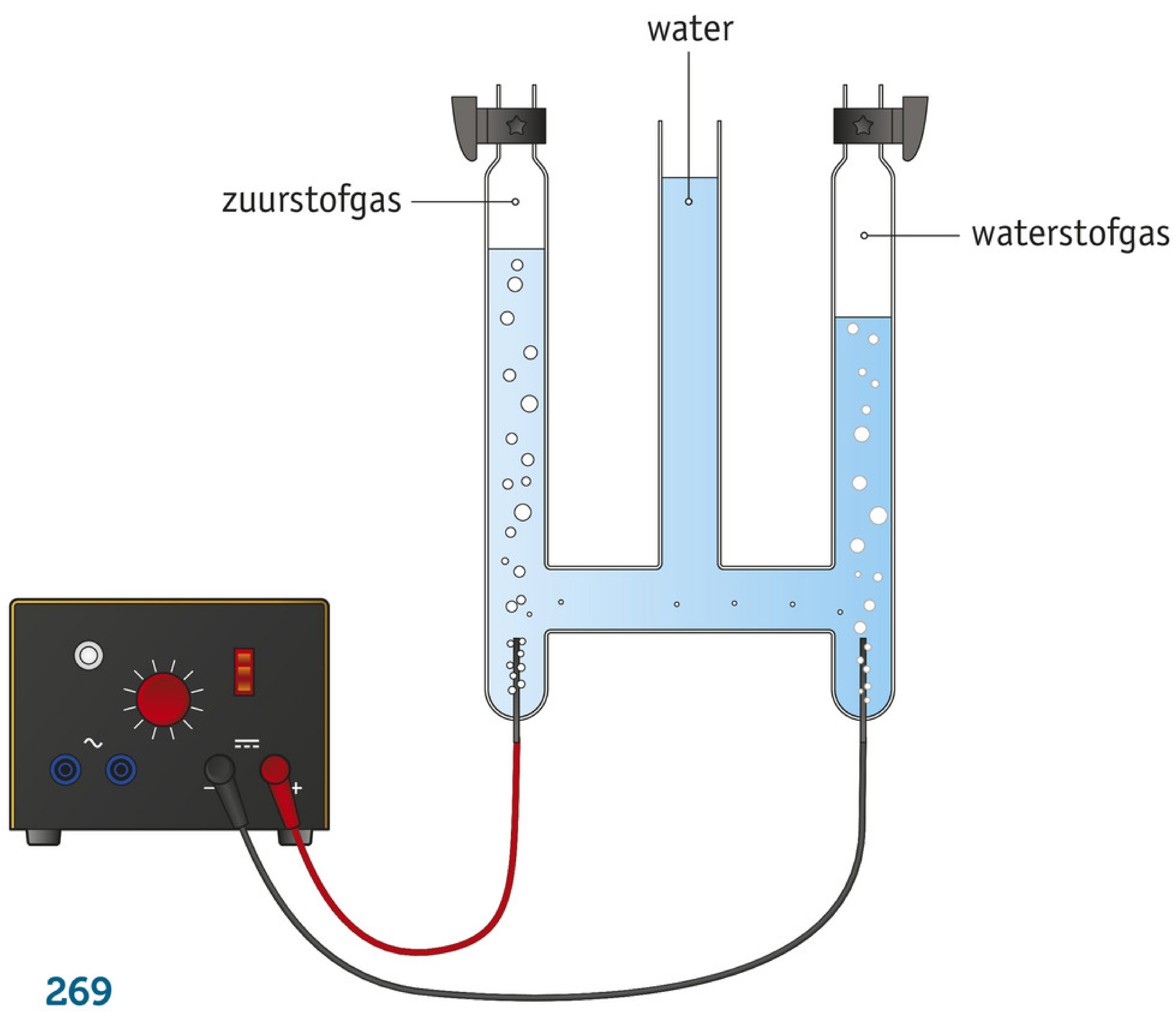
## Moleculen en atomen

Water bestaat uit watermoleculen. In figuur 12 zie je een model van zo'n watermolecuul. Uit proeven is gebleken dat watermoleculen verder kunnen worden opgesplitst (ontleed) in nog kleinere deeltjes: **atomen**. Elk watermolecuul bestaat uit drie atomen: één zuurstofatoom en twee waterstofatomen.

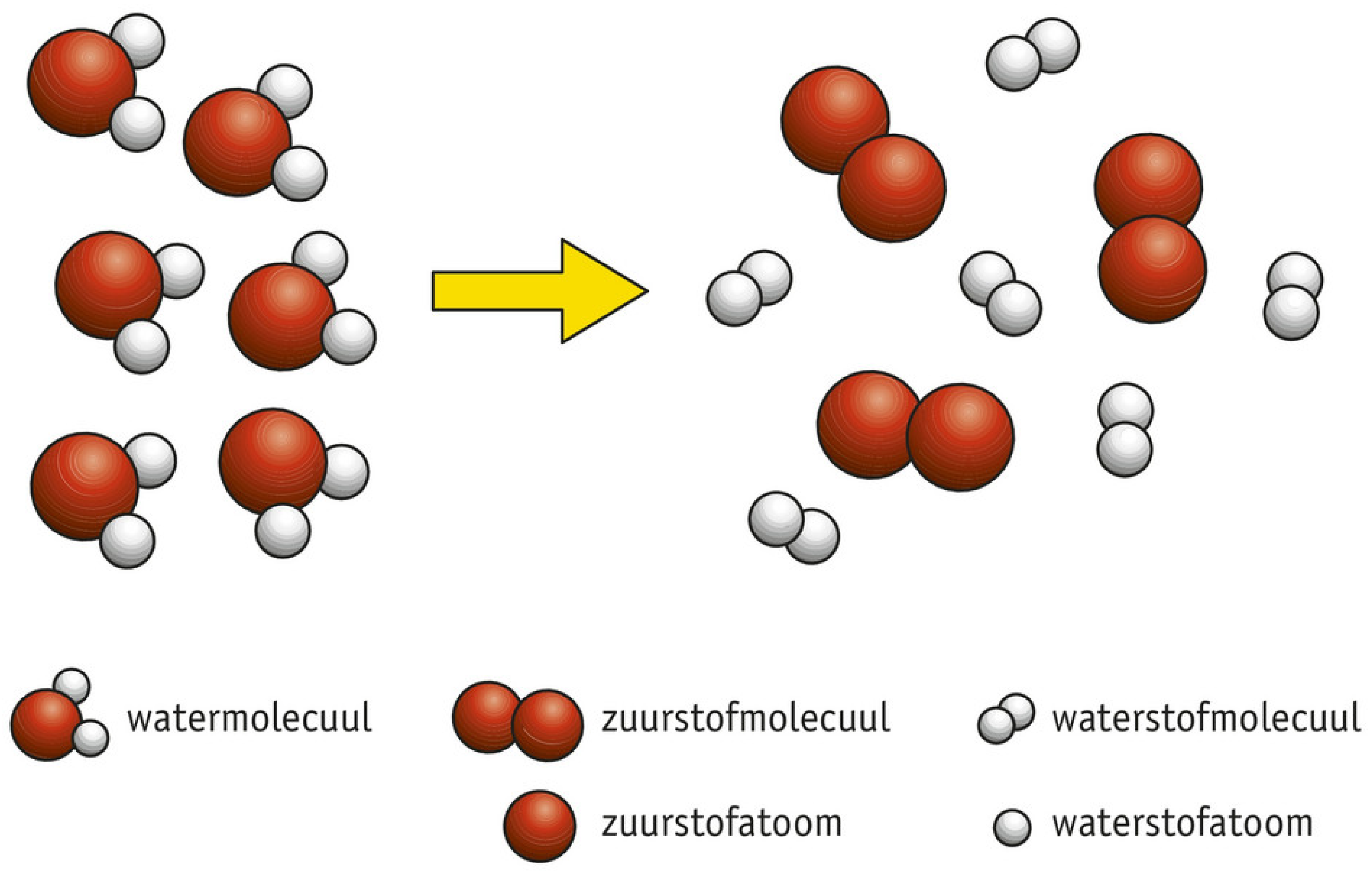
De moleculen van water zijn relatief klein. De moleculen van ethanol (de alcohol in wijn en bier) en sacharose (kristalsuiker) zijn duidelijk groter, zoals je in figuur 12 kunt zien. Een ethanolmolecuul heeft negen atomen, een sacharosemolecuul heeft er zelfs 45. Toch kom je in deze moleculen maar drie verschillende soorten bouwstenen tegen: koolstofatomen, waterstofatomen en zuurstofatomen.

## Stoffen ontleden

Er zijn verschillende manieren om stoffen te ontleden. Water kun je bijvoorbeeld ontleden met behulp van elektriciteit in het toestel van Hoffman (figuur 13). Als je stroom door het water laat lopen, worden er continu watermoleculen afgebroken. Daarvoor in de plaats ontstaan er twee nieuwe stoffen: de gassen waterstof en zuurstof.




▶ **figuur 13**
water ontleden met het toestel van Hoffman




▶ **figuur 14**
Als je water ontleedt, krijg je waterstof en zuurstof.

In figuur 14 is getekend wat er bij het ontleden met de moleculen gebeurt. Je ziet dat de watermoleculen kapotgaan. De losse bouwstenen vormen daarna nieuwe combinaties. Er ontstaan waterstofmoleculen (opgebouwd uit twee atomen waterstof) en zuurstofmoleculen (opgebouwd uit twee atomen zuurstof).

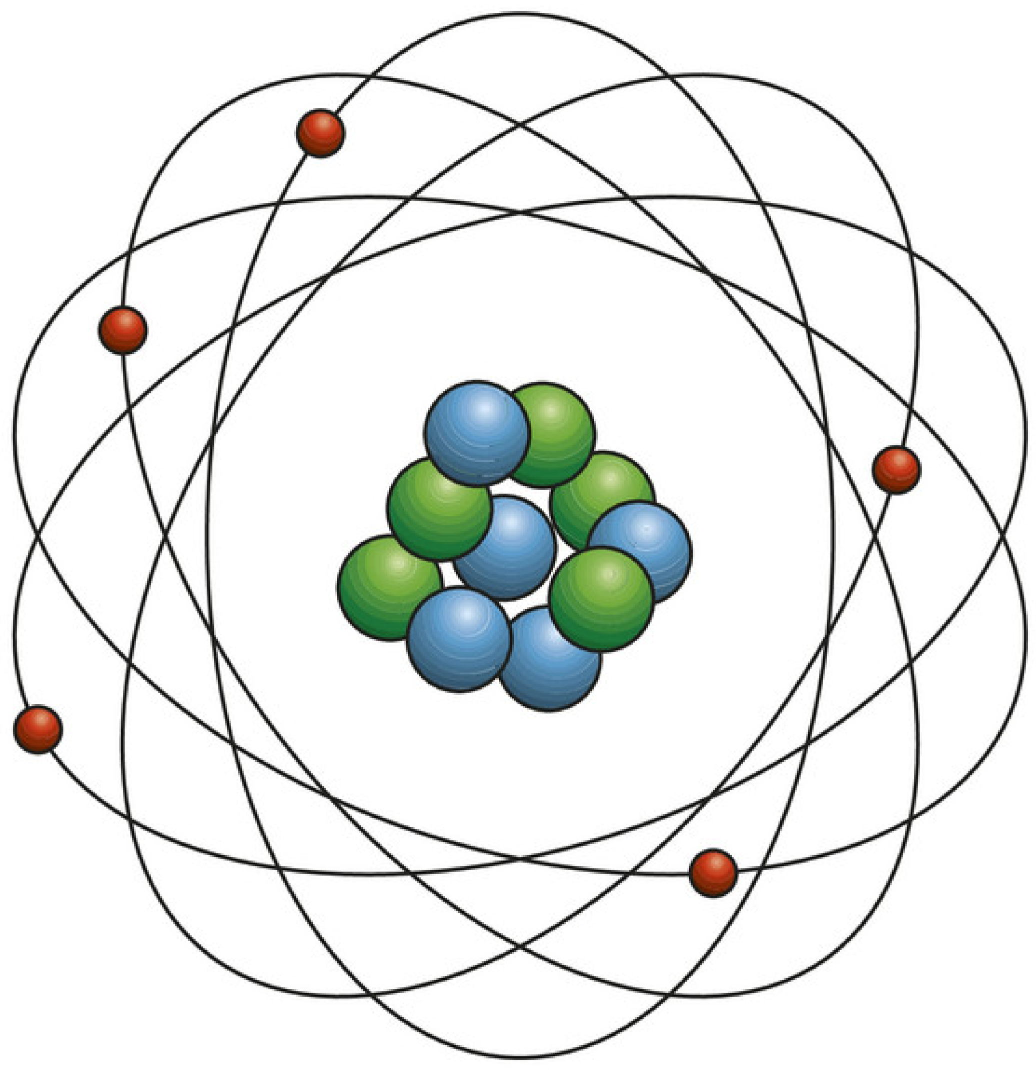
Waterstof en zuurstof worden **elementen** genoemd. Een element is een stof die niet verder ontleed kan worden. Dat komt doordat een element helemaal uit één soort atomen bestaat. In zuurstof heb je alleen zuurstofatomen, in waterstof alleen waterstofatomen. Omdat er iets meer dan honderd verschillende atoomsoorten zijn, zijn er ook iets meer dan honderd verschillende elementen (tabel 3).

▼ **tabel 3** gegevens van enkele elementen

| naam element | symbool | atoomnummer | fase bij 20 °C | komt in zuivere vorm voor als |
|---|---|---|---|---|
| waterstof | H | 1 | gas | kleurloos en reukloos gas |
| koolstof | C | 6 | vast | diamant, grafiet |
| stikstof | N | 7 | gas | kleurloos en reukloos gas |
| zuurstof | O | 8 | gas | kleurloos en reukloos gas |
| aluminium | Al | 13 | vast | lichtgrijs metaal |
| chloor | Cl | 17 | gas | groengeel gas met een prikkelende geur |
| jood | I | 53 | vast | paarse kristallen |
| platina | Pt | 78 | vast | grijswit metaal |
| goud | Au | 79 | vast | geel metaal |
| kwik | Hg | 80 | vloeibaar | zilverwit metaal |
| uranium | U | 92 | vast | grijs metaal |

## De bouw van een atoom

Wetenschappers en filosofen hebben lang gedacht dat atomen de kleinste deeltjes zijn die er bestaan. Het woord ‘atoom’ geeft dat ook aan: het is afgeleid van het Griekse woord *atomos* dat ‘ondeelbaar’ betekent. Maar natuurkundigen hebben rond 1890 ontdekt dat atomen uit nog kleinere deeltjes bestaan: **protonen**, **neutronen** en **elektronen**.



▲ **figuur 15**
een model van een booratoom (atoomnummer 5)

In figuur 15 zie je een vereenvoudigde weergave van een atoom van het element boor. Zoals elk atoom bestaat het uit een kern met daaromheen een aantal elektronen. De kern is in werkelijkheid veel kleiner dan het atoom zelf. Het atoom is in figuur 15 niet op schaal getekend. In een tekening op schaal zou je de kern niet eens kunnen zien!

De atoomkern is opgebouwd uit twee soorten deeltjes: protonen en neutronen. Er is één uitzondering op deze regel: de kern van een waterstofatoom (het kleinste atoom dat er bestaat) bestaat uit één proton en bevat geen neutronen.

**Protonen**
Een proton heeft een onvoorstelbaar kleine massa: $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg (dat is 1,67 gedeeld door een miljard keer een miljard keer een miljard). Een proton heeft bovendien een heel kleine positieve lading. De protonen in een atoomkern worden bij elkaar gehouden door **kernkrachten** die groter zijn dan de afstotende elektrische krachten tussen de protonen.

**Neutronen**
Neutronen vormen samen met protonen de kern van een atoom. De massa van een neutron is bijna even groot als die van een proton. Een neutron heeft geen elektrische lading (is neutraal). Het aantal neutronen in een atoomkern mag niet te groot of te klein zijn, anders is de kern instabiel en valt hij op een gegeven moment uit elkaar (zie paragraaf 3).

**Elektronen**
Een elektron is een negatief geladen deeltje. De massa van een elektron is $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg: ongeveer 1800 keer zo klein als de massa van een proton of een neutron. De lading van een elektron is even groot als, maar tegengesteld aan, de lading van een proton: twee (negatief geladen) elektronen stoten elkaar even sterk af als twee (positief geladen) protonen.

Een atoom heeft evenveel protonen als elektronen. Daardoor is een atoom als geheel elektrisch neutraal: je kunt de positieve lading van de protonen 'wegstrepen' tegen de negatieve lading van de elektronen.

## Isotopen

De atomen van één element hebben allemaal hetzelfde aantal protonen in hun kern. Elk koolstofatoom heeft zes protonen, elk zuurstofatoom heeft er acht, enzovoort. Het aantal protonen bepaalt dus met welk element je te maken hebt. Daarom heeft elk element een **atoomnummer** dat gelijk is aan het aantal protonen in de kern. Het atoomnummer van koolstof is dus 6, het atoomnummer van zuurstof 8, enzovoort.



▲ figuur 16
Koper is een mengsel van twee isotopen: 69% van de atomen is koper-63 en 31% is koper-65.

De atomen van één element kunnen wel een verschillend aantal neutronen in hun kern hebben. Je zegt dan dat het element verschillende **isotopen** heeft. Het element koper (figuur 16) heeft bijvoorbeeld de isotopen koper-63 (29 protonen en 34 neutronen) en koper-65 (29 protonen en 36 neutronen). Scheikundig gezien is er geen verschil tussen deze isotopen: ze zien er net zo uit en reageren op dezelfde manier met andere stoffen.

De getallen 63 en 65, waarmee je de isotopen van koper van elkaar onderscheidt, noem je **massagetallen**. Het massagetal geeft het totale aantal kerndeeltjes aan: het aantal protonen + het aantal neutronen. Omdat je de massa van de elektronen kunt verwaarlozen, is het massagetal ook een maat voor de totale atoommassa. Een atoomkern koper-65 bestaat uit meer deeltjes en heeft dus een grotere massa dan een atoomkern koper-63.

## Plus Het periodiek systeem

Het periodiek systeem (figuur 17) is een schema met rijen (perioden) en kolommen (groepen). In de ongeveer honderd vakjes van dit schema zijn alle elementen op een overzichtelijke manier geordend.

In de rijen staan de elementen op volgorde van het atoomnummer (het aantal protonen in de kern). In de derde rij staan bijvoorbeeld de elementen met de atoomnummers 11 tot en met 18: natrium tot en met argon.

Elementen met vergelijkbare eigenschappen zijn in het schema onder elkaar gezet. Zo krijg je achttien groepen elementen met vergelijkbare eigenschappen. In groep 18 helemaal rechts vind je bijvoorbeeld de edelgassen: helium (He), neon (Ne), argon (Ar) enzovoort. Kenmerkend voor deze gassen is dat ze niet met andere stoffen reageren. Edelgassen worden onder andere gebruikt om er lampen mee te vullen.

▼ figuur 17
het periodiek systeem van de elementen

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | 23 V | 24 Cr | 25 Mn | 26 Fe | 27 Co | 28 Ni | 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr |
| 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | 43 Tc | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe |
| 55 Cs | 56 Ba | 57 La | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn |

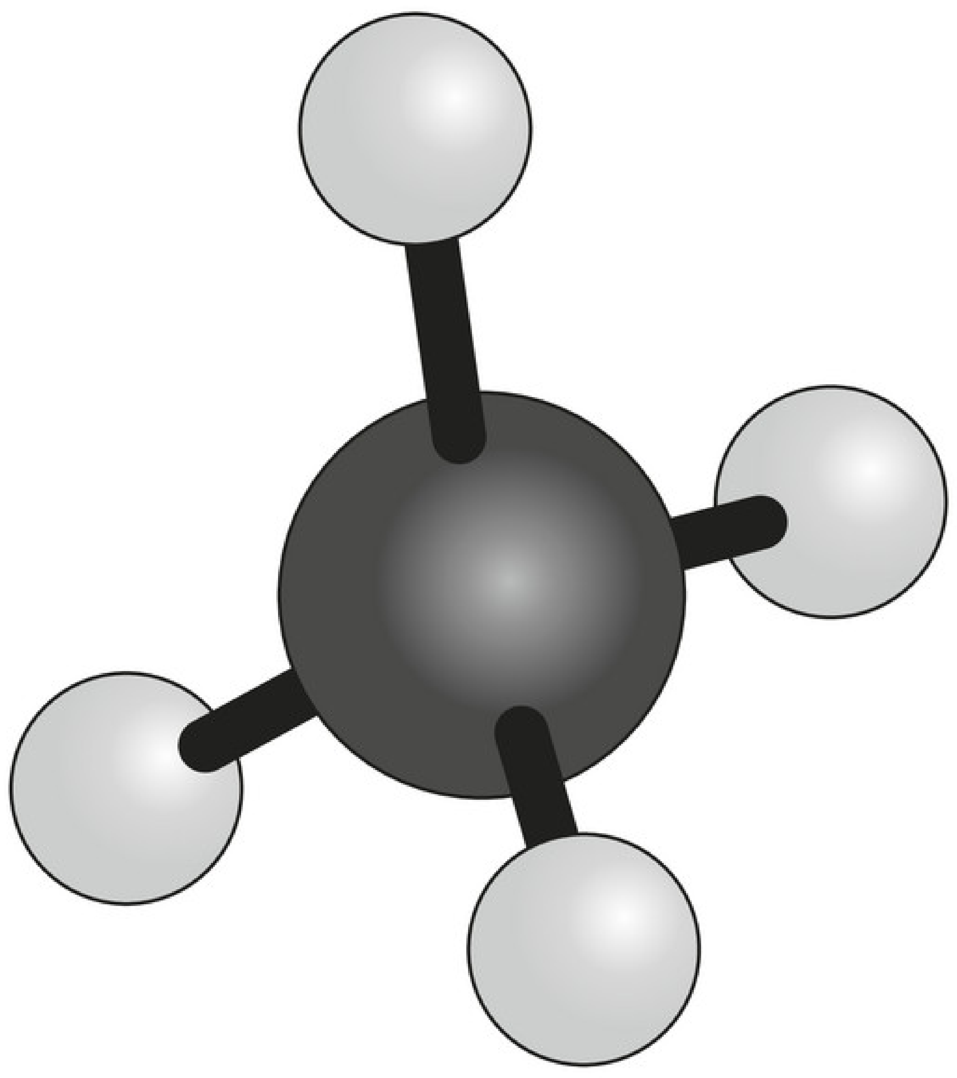
## opgaven Leerstof

**12** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waarom wordt zuurstof wel een element genoemd, en water niet?
- **b** Uit welke drie soorten deeltjes is een koperatoom opgebouwd?
- **c** Welke van deze deeltjes zitten in de kern van het koperatoom?
- **d** In welk geval zijn twee atomen isotopen van hetzelfde element?

**13** Leg uit wat bedoeld wordt met:
- **a** het atoomnummer van een element.
- **b** het massagetal van een isotoop.

## Toepassing

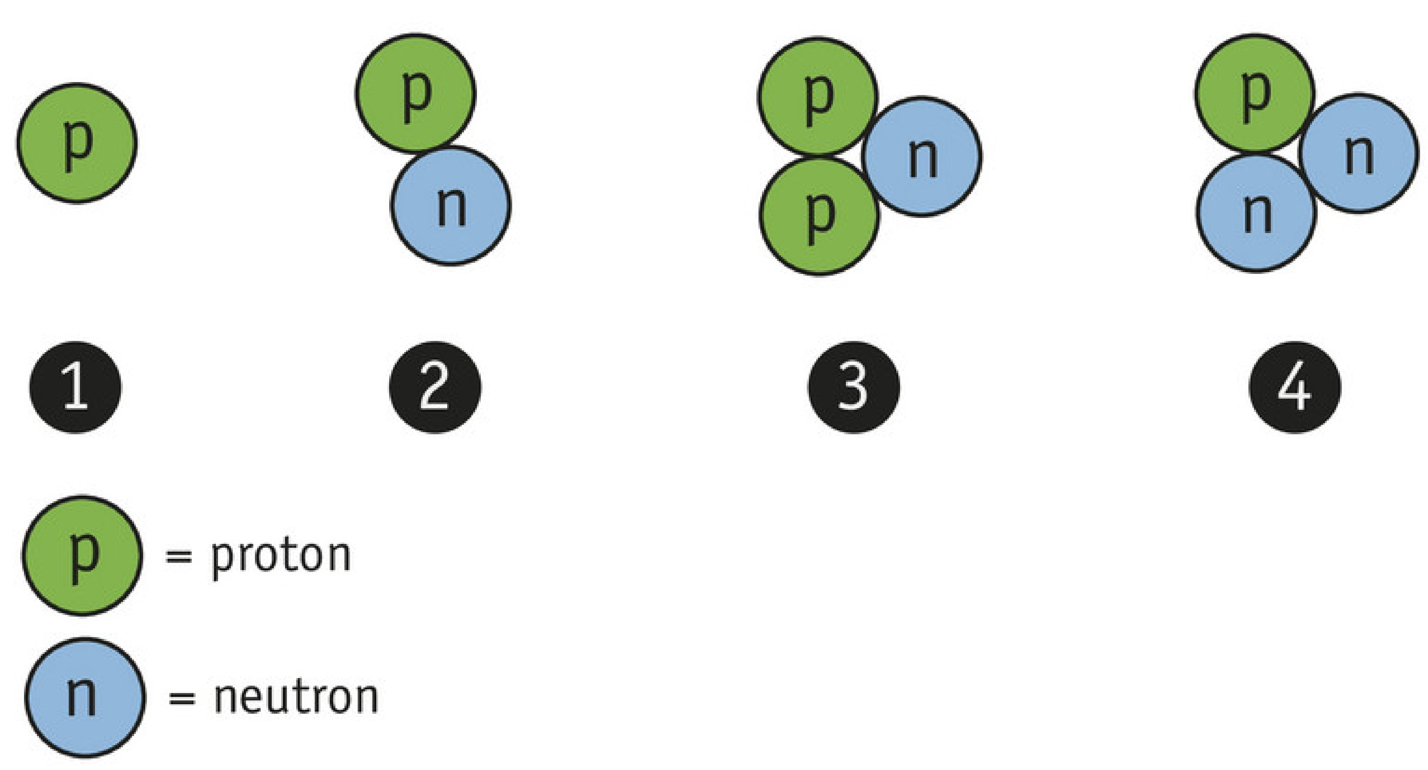
**14** Met het toestel van Hoffman kun je water ontleden. In de ene buis krijg je dan waterstofgas, in de andere buis zuurstofgas.
Leg uit hoe het komt:
- **a** dat bij de ontleding van water wel waterstof en zuurstof ontstaan, en niet bijvoorbeeld stikstof en koolstof.
- **b** dat er bij de ontleding van water twee keer zoveel waterstofmoleculen ontstaan als zuurstofmoleculen.



▲ **figuur 18**
een model van een methaanmolecuul

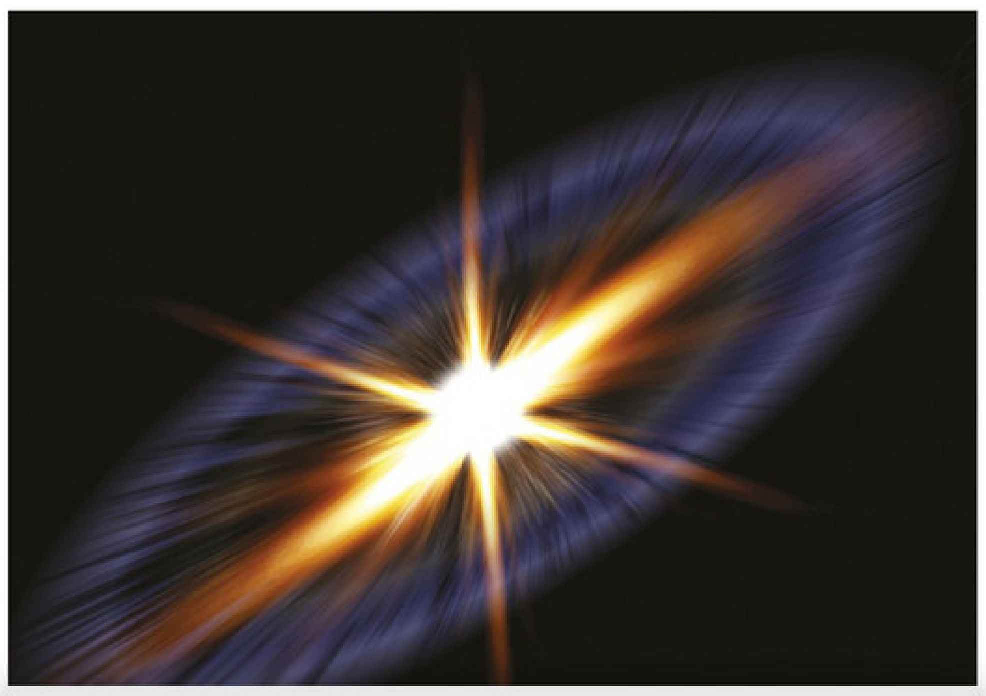
**15** Methaan ($CH_4$) is het belangrijkste bestanddeel van aardgas (figuur 18).
Welke elementen ontstaan er bij de ontleding van methaan? Leg uit.

**16** In figuur 19 zijn vier atoomkernen schematisch weergegeven.
Welke kernen zijn van hetzelfde element? Waaruit maak je dat op?




▶ **figuur 19**
vier atoomkernen

**17** Deze opgave gaat over twee atomen, X en Y.
- **a** Atoom X heeft 80 protonen en 118 neutronen.
  - Van welk element is dit een isotoop? Zie tabel 3.
  - Wat is het atoomnummer van dit element?
- **b** Atoom Y heeft hetzelfde massagetal als atoom X, maar twee protonen minder.
  - Hoeveel neutronen heeft atoom Y dus?
  - Van welk element is dit een isotoop?
- **c** Hebben de isotopen uit a en b dezelfde scheikundige eigenschappen? Leg uit.



## Neutronensterren

Als hele grote sterren 'sterven' en hun kern instort, kan er een zogenaamde neutronenster ontstaan. Onder invloed van de zwaartekracht wordt de druk in de kern van zo'n ster zo groot dat de atomen als het ware worden samengeperst: protonen en elektronen smelten samen tot neutronen.
Neutronensterren hebben een diameter van ongeveer 20 kilometer waarin alle massa is samengepakt. De dichtheid van zo'n ster is zo groot dat een enkele theelepel materie een miljard ton zou wegen!
*Bron: De nieuwe ster*

▲ **figuur 20**
Een neutronenster ontstaat na de explosie van een zware ster.

**18** Lees de tekst in figuur 20, een gedeelte uit een artikel.
- **a** Leg uit dat er een ongeladen deeltje ontstaat, als een proton en een elektron samensmelten.
- **b** De dichtheid van een neutronenster is gemiddeld genomen zo'n $1{,}0 \cdot 10^{17}$ kg/m$^3$. In figuur 20 wordt een bewering gedaan over de massa van 'een theelepel neutronenster'.
  Ga met een berekening na of deze bewering juist kan zijn. Schat daartoe eerst met hoeveel cm$^3$ 'één theelepel' overeenkomt.

***19** Geraldine leest in een natuurkundeboek:

> Een atoom bestaat vooral uit lege ruimte. De kern is maar heel klein op de schaal van het atoom. Daarmee vergeleken is de afstand tussen de kern en de elektronen enorm groot! Als je het waterstofatoom zou opblazen tot de grootte van een doorsnee heteluchtballon (20 m in doorsnede, voor vijf passagiers), dan heeft de kern de grootte van een zandkorreltje met een diameter van 0,35 mm.

Geraldine weet dat een waterstofatoom een straal heeft van ongeveer 55 pm.
Bereken met deze gegevens de diameter van de kern van het waterstofatoom.

## Plus Het periodiek systeem

**20** Het lichtste element in groep 11 van het periodiek systeem is koper.
- **a** Noteer nog twee andere elementen die je in deze groep tegenkomt.
- **b** Noteer drie eigenschappen die deze elementen gemeenschappelijk hebben.

**21** Het magnesium in de aardkorst bestaat voor 79% uit Mg-24, voor 10% uit Mg-25 en voor 11% uit Mg-26.
- **a** Neem tabel 4 over en vul de ontbrekende gegevens in.
- **b** Waar vind je deze drie isotopen in het periodiek systeem?
- **c** Het woord 'isotoop' is afgeleid van de Griekse woorden *iso* (gelijk, dezelfde) en *topos* (plaats).
  Leg uit waarom voor deze naam is gekozen.

▼ **tabel 4** drie isotopen van magnesium

| isotoop | atoom-nummer | massagetal | aantal protonen | aantal neutronen |
|---|---|---|---|---|
| Mg-24 | 12 | | | |
| | 12 | | | 13 |
| | | 26 | | 14 |

# 3 Ioniserende straling

**Infrarode straling is alleen gevaarlijk als de straling heel intens is, zoals bij een felle brand. In dat geval kun je beter op een veilige afstand blijven. Voor röntgenstraling en gammastraling ligt dat anders. Deze vormen van straling zijn al gevaarlijk in kleine hoeveelheden.**

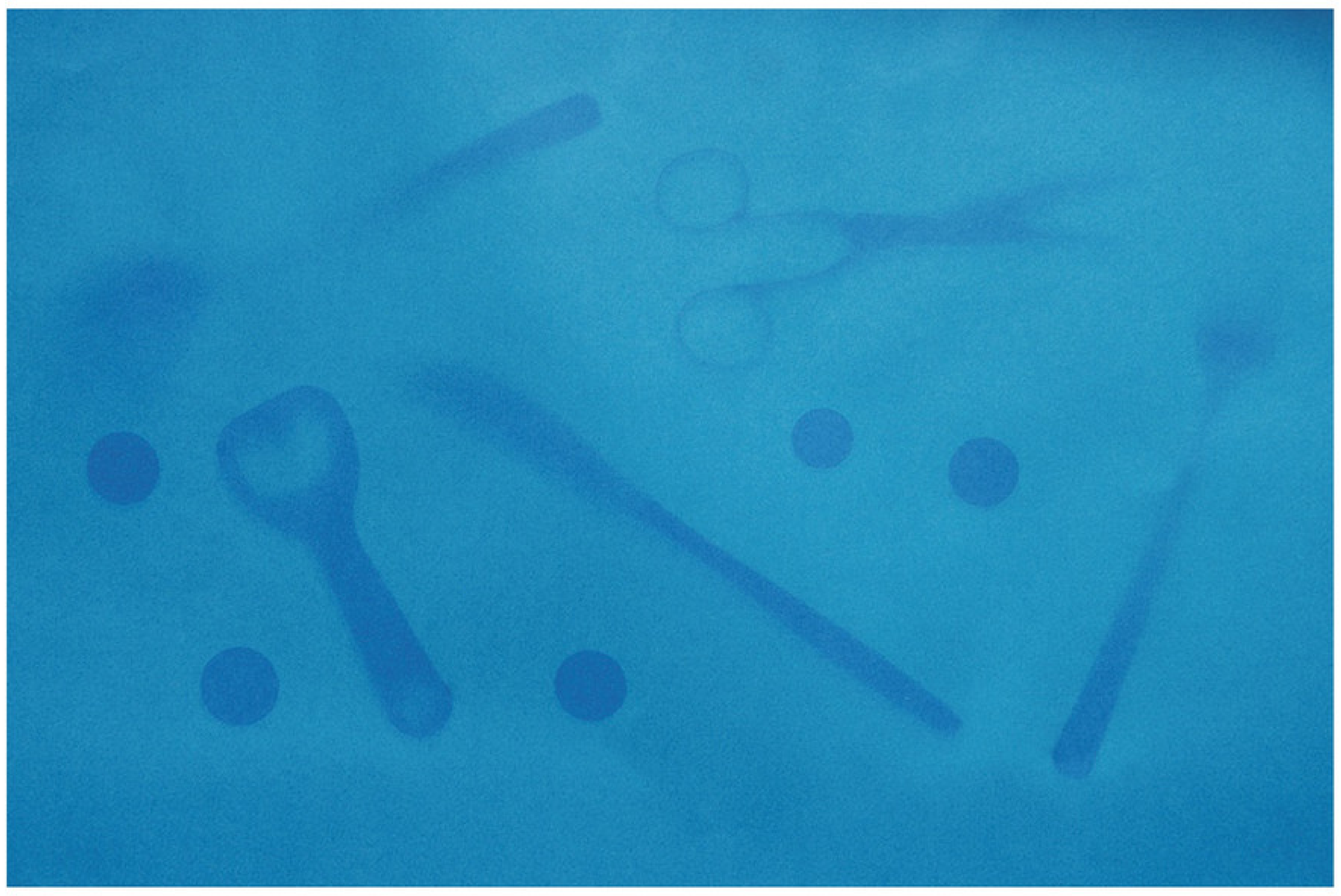
## Effecten van straling

Als straling wordt geabsorbeerd, komt de energie in de straling vrij. Dat merk je als je met een zwart T-shirt aan in de felle zon zit: door de straling (infrarood en licht) die op je T-shirt valt, krijg je het snel warm. Doordat stralingsenergie wordt omgezet in warmte, stijgt de temperatuur van je huid. Hiervoor is verhoudingsgewijs veel energie nodig.

Sommige soorten straling hebben nog een ander effect: hun stralingsenergie kan stoffen afbreken. Dat merk je bijvoorbeeld als je een vel gekleurd papier een aantal dagen in de zon legt. De ultraviolette straling in het zonlicht maakt de kleurstofmoleculen dan kapot. Daardoor verbleken de kleuren steeds verder (figuur 21). Uv-straling kan ook schade veroorzaken aan het DNA (het erfelijk materiaal) in je huidcellen.

Straling die moleculen kapot kan maken, wordt **ioniserende straling** genoemd. Radiogolven, ir-straling en licht zijn niet ioniserend. Uv-straling is zwak ioniserend en röntgenstraling en gammastraling zijn sterk ioniserend. Een kleine hoeveelheid röntgen- of gammastraling kan al gezondheidsschade veroorzaken. Daarom moet je met deze vormen van straling erg voorzichtig zijn.





▲ **figuur 21**
Een proef met uv-straling: na twee weken in de zon is het papier zichtbaar verkleurd.

## Radioactieve stoffen

In 1896 ontdekte de Franse natuurkundige Henri Becquerel dat sommige stoffen spontaan (zonder invloed van buitenaf) ioniserende straling uitzenden. Je zegt dat zulke stoffen **radioactief** zijn. (Het woord 'radio' komt van 'radius', het Latijnse woord voor straal. 'Radioactief' betekent dus: zendt zelf straling uit).



▲ **figuur 22**
Uraniumerts is zo radioactief dat je het beter niet met blote handen aan kunt pakken.

Radioactieve stoffen vind je overal, meestal in heel kleine hoeveelheden: in de bodem, in het water, in de lucht, in de muren van gebouwen en zelfs in je eigen lichaam. Veel van deze stoffen zijn van natuurlijke oorsprong. Ze zijn **natuurlijk radioactief** (figuur 22). Na 1896 hebben mensen geleerd om ook zelf nieuwe radioactieve stoffen te maken. Zulke stoffen noem je **kunstmatig radioactief**.

Je kunt de straling van radioactieve stoffen niet zien, horen of voelen. Je kunt deze straling alleen waarnemen met behulp van instrumenten. Mensen die met radioactieve stoffen werken, moeten bijvoorbeeld altijd een **dosimeter** bij zich hebben. Die registreert hoeveel straling de drager bij het werk oploopt (figuur 23).

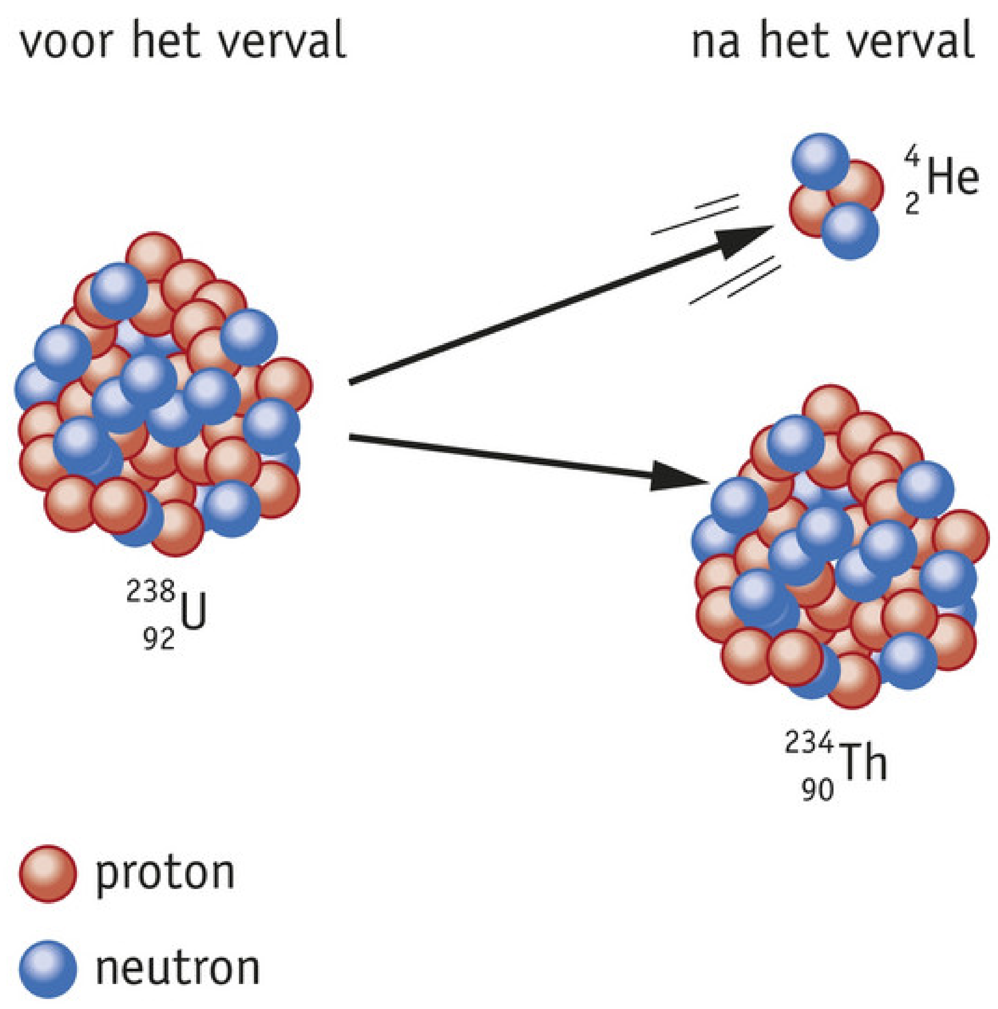



▶ **figuur 23**
een dosimeter

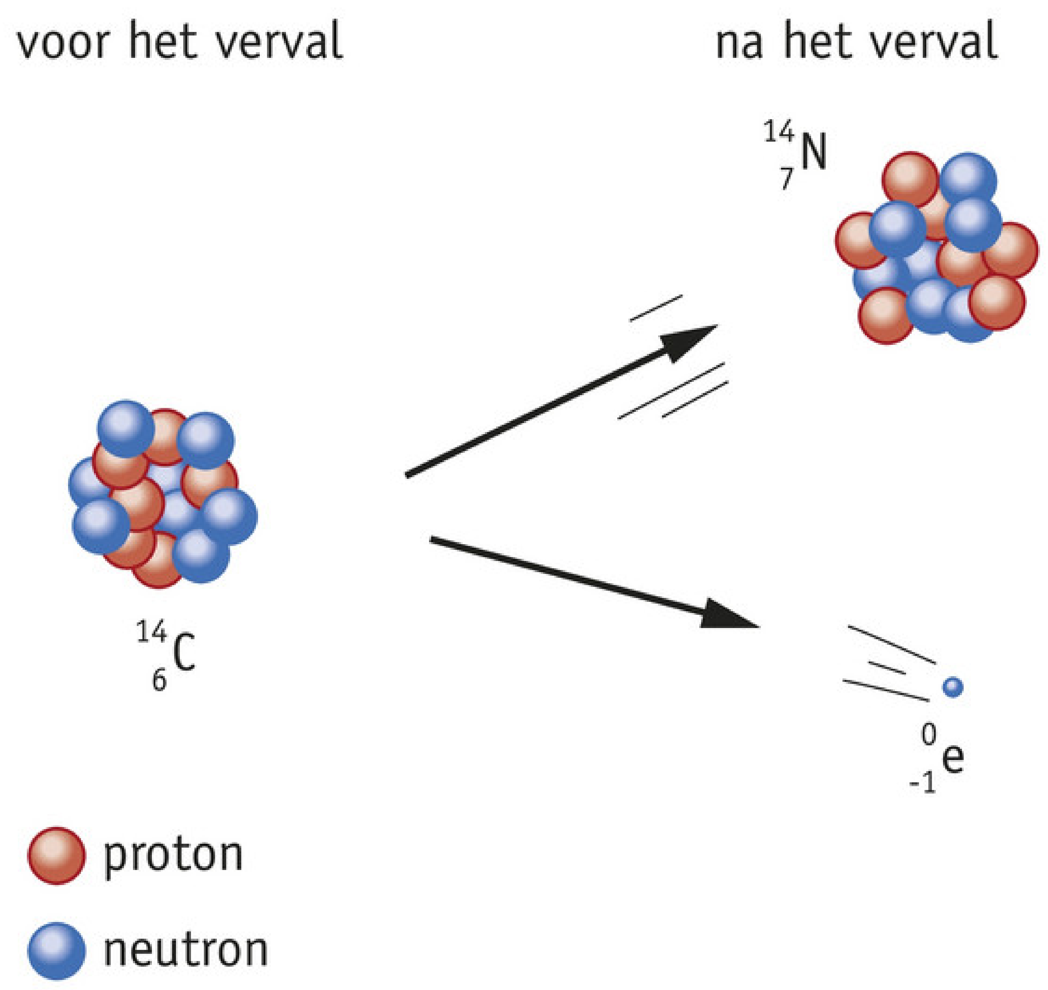
## Instabiele en stabiele kernen

Radioactieve stoffen hebben atoomkernen die **instabiel** zijn: de kernen kunnen opeens veranderen en daarbij ioniserende straling uitzenden. Je kunt zo'n atoomkern vergelijken met een bom die plotseling, zonder aanleiding, ontploft. De meeste atoomkernen om je heen zijn **stabiel** en veranderen niet. Anders zou er op aarde geen leven mogelijk zijn.

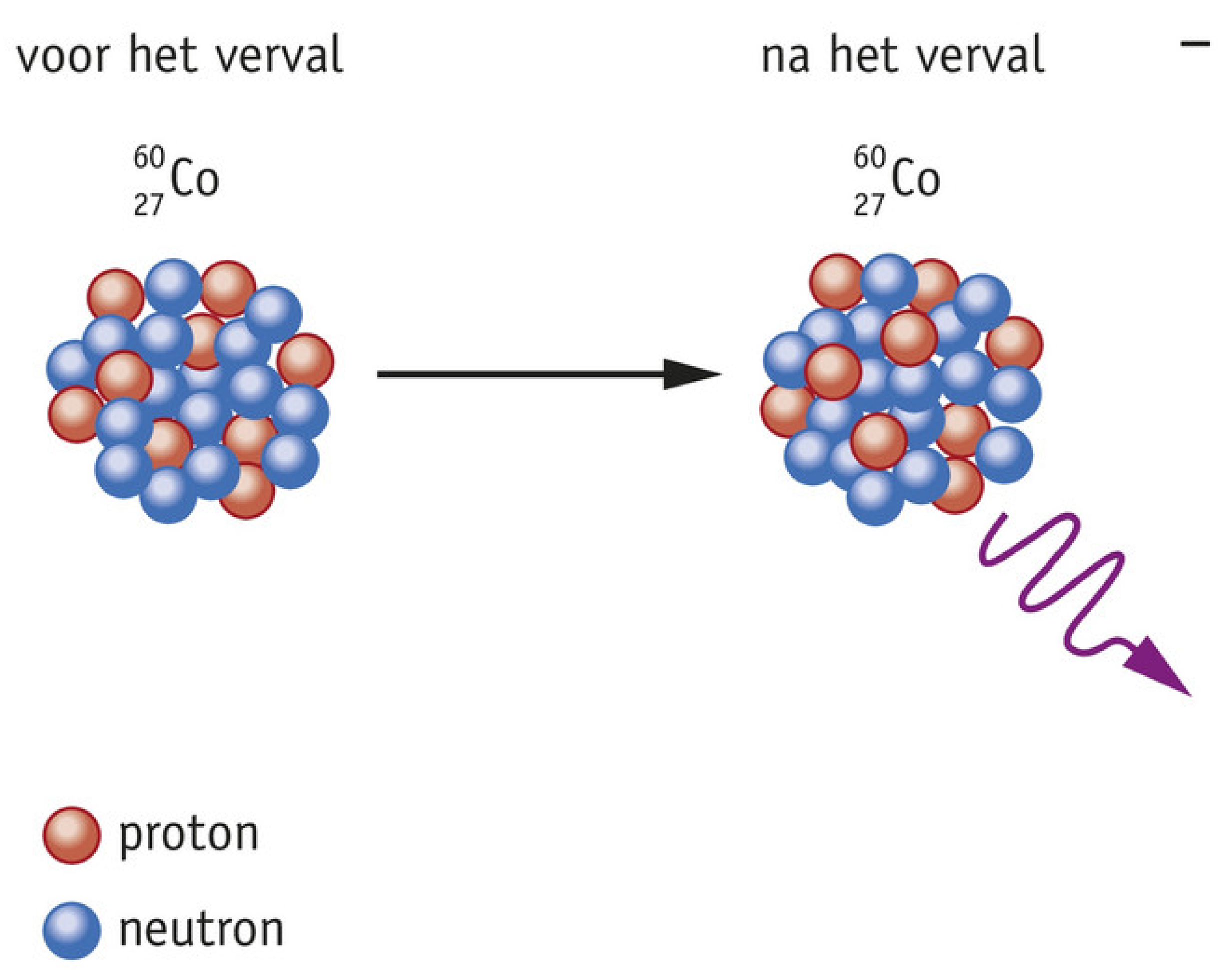
De samenstelling van een atoomkern bepaalt of de kern stabiel is of niet. Omstandigheden buiten de atoomkern hebben daar geen invloed op. Het maakt bijvoorbeeld niet uit of het atoom deel uitmaakt van een molecuul of niet. Het enige wat van belang is voor de stabiliteit, is het aantal protonen en neutronen in de atoomkern.




▲ **figuur 24**
Een uraniumisotoop zendt een alfadeeltje uit.




▲ **figuur 25**
Een koolstofisotoop zendt een bètadeeltje uit.




▲ **figuur 26**
Een kobaltisotoop zendt gammastraling uit.

Koolstof is een goed voorbeeld. In de natuur komen drie soorten koolstofatomen voor: koolstof-12 of ${}^{12}C$ (zes protonen en zes neutronen), koolstof-13 of ${}^{13}C$ (zes protonen en zeven neutronen) en koolstof-14 of ${}^{14}C$ (zes protonen en acht neutronen). De atomen van ${}^{12}C$ en ${}^{13}C$ zijn stabiel, de atomen van ${}^{14}C$ zijn instabiel. Je zegt dat koolstof drie natuurlijke **isotopen** heeft, waarvan er twee stabiel zijn en één instabiel.

Bij de beschrijving van radioactiviteit wordt voor isotopen vaak een speciale notatie gebruikt. In deze notatie staan het massagetal en het atoomnummer beide links van het atoomsymbool, het massagetal boven en het atoomnummer onder. Koolstof-12 wordt dus geschreven als ${}^{12}_{6}C$, koolstof-13 als ${}^{13}_{6}C$, enzovoort.

## Drie soorten verval

Instabiele atoomkernen kunnen op verschillende manieren veranderen. Dat noem je **radioactief verval**. Hieronder staan drie belangrijke vormen van radioactief verval.

- **Alfaverval** ($\alpha$-verval)
  Bij alfaverval vliegt er een **alfadeeltje** uit de kern. Zo'n deeltje heeft dezelfde samenstelling als een heliumkern: twee neutronen en twee protonen (figuur 24). Het massagetal van de atoomkern daalt hierdoor met vier en het atoomnummer met twee.
  Voorbeeld: ${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$

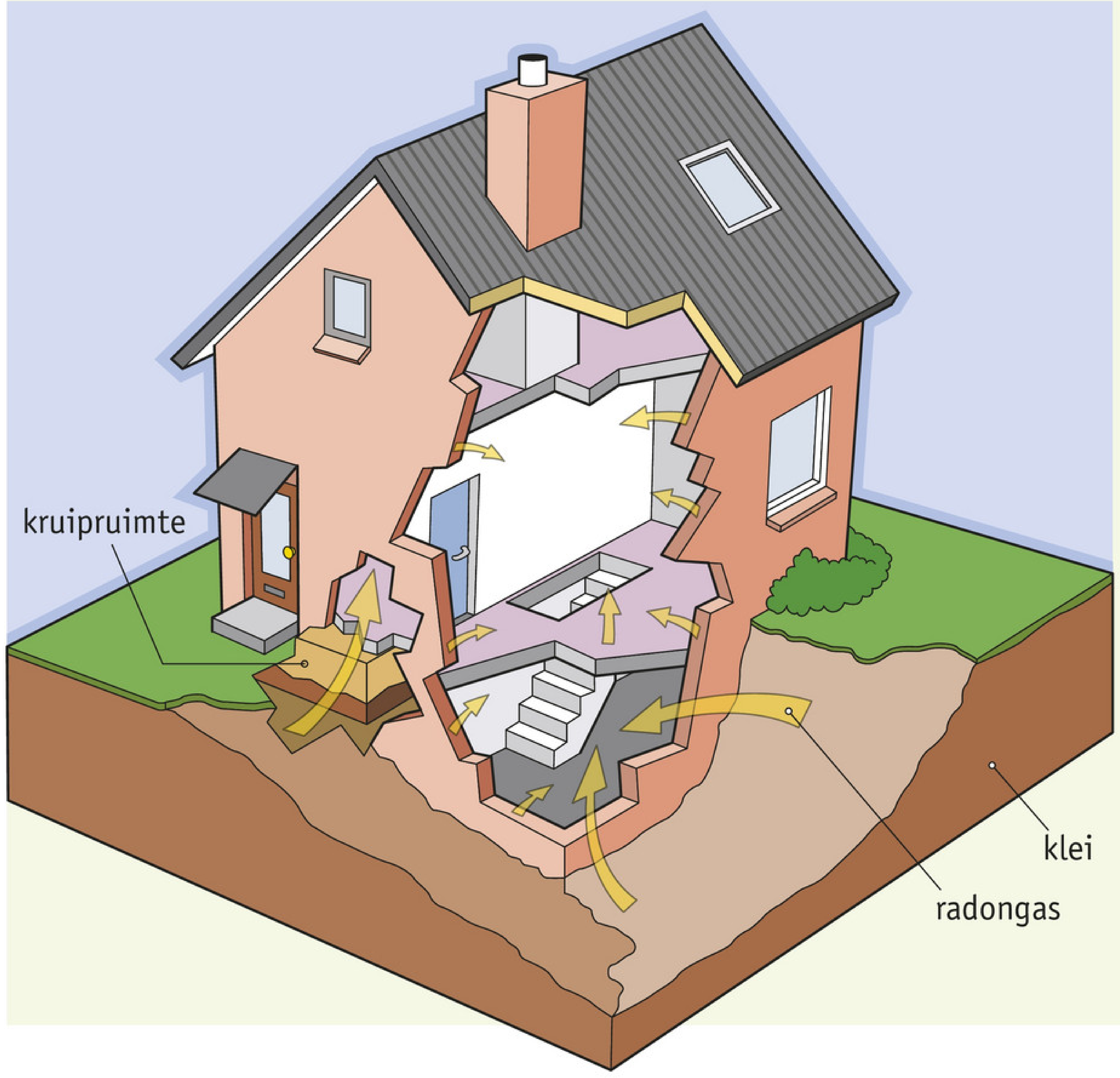
- **Bètaverval** ($\beta$-verval)
  Bij bètaverval verandert een neutron in de atoomkern spontaan in een proton en een elektron. Het elektron wordt meteen daarna uitgestoten uit de kern (figuur 25). Het wordt dan een **bètadeeltje** genoemd. Het massagetal van de atoomkern verandert niet, want het aantal kerndeeltjes blijft gelijk. Het atoomnummer stijgt met één, omdat er één proton bij komt.
  Voorbeeld: ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$

- **Gammaverval** ($\gamma$-verval)
  Gammaverval ontstaat vaak na alfa- of bètaverval. De kern is in heftige beweging geraakt en moet nog veel energie kwijtraken. Dat doet hij door gammastraling uit te zenden (figuur 26). Daarbij veranderen het massagetal en het atoomnummer niet.

## Plus Radioactiviteit om je heen

Radioactieve stoffen zijn overal, tot in je eigen lichaam toe. Het gaat bijna altijd om heel kleine hoeveelheden. Van elke stof is onderzocht hoeveel straling hij afgeeft, en welke gezondheidsrisico's dat met zich meebrengt.

▼ **figuur 27**
Door goed te ventileren, kun je de concentratie radongas in huis laag houden.




Van de natuurlijk radioactieve stoffen is radon-222 (Rn-222) het meest schadelijk. Radon is een edelgas dat wordt gevormd door het radioactief verval van radium in de bodem en in bouwmaterialen, zoals baksteen en gips. Uit de ene grondsoort komt meer radon vrij dan uit de andere: uit klei bijvoorbeeld wel 2× zo veel als uit zand.

Omdat radon een gas is, kan het uit bouwmaterialen ontsnappen. In huis is de concentratie radon-222 daarom veel hoger dan buiten. Bovendien hoopt radon uit de bodem zich op in de kruipruimtes onder het huis. Als er niet genoeg wordt geventileerd, blijft het radon in huis hangen (figuur 27). Dit kan een risico voor de bewoners vormen.

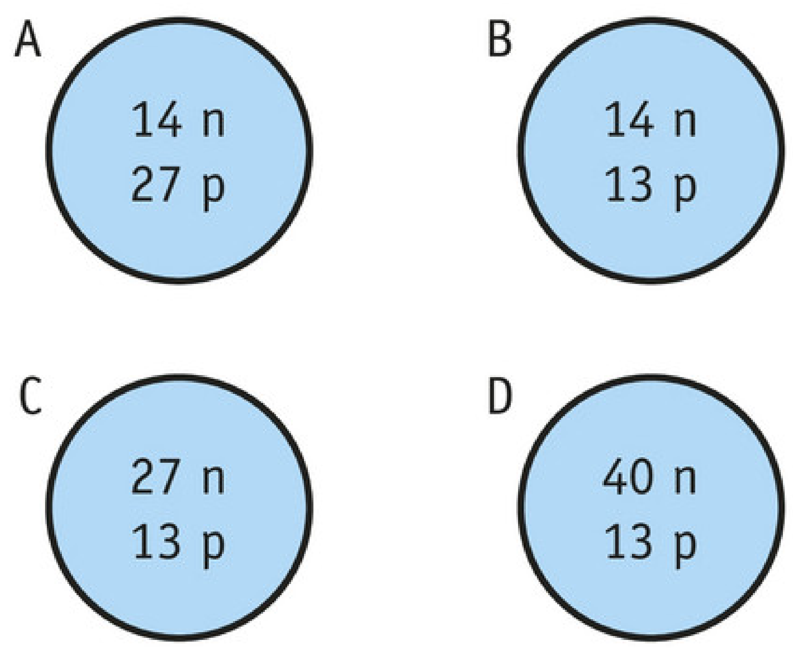
## opgaven Leerstof

**22** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welk soort elektromagnetische straling heeft een zwak ioniserende werking?
- **b** Wat is het verschil tussen natuurlijke en kunstmatige radioactieve stoffen?
- **c** Waarom moeten sommige werknemers altijd een dosimeter bij zich hebben?
- **d** Waarvan is het afhankelijk of de kern van een atoom stabiel is of instabiel?
- **e** Hoe verandert een atoomkern als het een alfadeeltje uitstoot (alfaverval)?

**23** Het element koolstof komt in de natuur in verschillende vormen voor.
- **a** Hoe heten de verschillende vormen van een element, zoals $^{12}C$ en $^{13}C$?
- **b** Hoe noem je het getal 12 in $^{12}C$? Wat vertelt dit getal je over het atoom?
- **c** Wat is het atoomnummer van koolstof? Wat zegt dit getal over het atoom?
- **d** $^{12}C$ atomen en $^{13}C$ atomen zijn allebei stabiel. Wat wordt daarmee bedoeld?

**24** Bij welke vorm van radioactief verval:
- **a** veranderen het massagetal en het atoomnummer allebei niet?
- **b** stijgt het atoomnummer met 1 en blijft het massagetal gelijk?
- **c** daalt het massagetal met 4 en daalt het atoomnummer met 2?

## Toepassing




p = proton
n = neutron

▲ **figuur 28**
Welke tekening is juist?

**25** Bij de Kunstuitleen kun je kunstvoorwerpen lenen, zoals tekeningen en schilderijen. In de uitleenvoorwaarden staat dat je de voorwerpen niet zomaar ergens aan de muur mag hangen: 'Probeer daglicht zo veel mogelijk te weren (met lamellen, rolgordijnen, vitrage, luiken en plakfolie). Anders kunnen kleuren ernstig verschieten.'
- **a** Wat wordt bedoeld met het 'verschieten' van kleuren?
- **b** Welk soort straling is de oorzaak van deze kleurverandering?

**26** Welke tekening in figuur 28 stelt een $^{27}_{13}$Al kern voor?

**27** Leg uit welk soort straling wordt uitgezonden:
- **a** als lood-204 vervalt, zonder in een andere isotoop te veranderen.
- **b** als nikkel-63 door radioactief verval verandert in koper-63.
- **c** als radium-224 door radioactief verval verandert in radon-220.

**28** Zoek op internet informatie over het chemisch element radium.
- **a** Hoeveel stabiele isotopen heeft radium? En hoeveel instabiele isotopen?
- **b** Komt radium ook in de natuur voor of zijn alle isotopen kunstmatig?
- **c** Hoe groot is het aantal protonen en neutronen in een radium-226 kern?
- **d** Welke atoomsoort ontstaat bij het radioactief verval van radium-228?

**29** De isotopen die bij radioactief verval ontstaan, kunnen zelf ook weer radioactief zijn. Soms heb je een hele reeks radioactieve isotopen die elkaar één voor één opvolgen, totdat de laatste vervalreactie een stabiele atoomkern oplevert.
In figuur 29 zie je zes stappen van de vervalreeks waardoor uranium-238 vervalt tot (stabiel) lood-206. Enkele gegevens zijn daarbij weggelaten.
Noteer wat er nog ontbreekt:
- **a** bij stap 2.
- **b** bij stap 3.
- **c** bij stap 12.
- **d** bij stap 13.
- **e** bij stap 14.

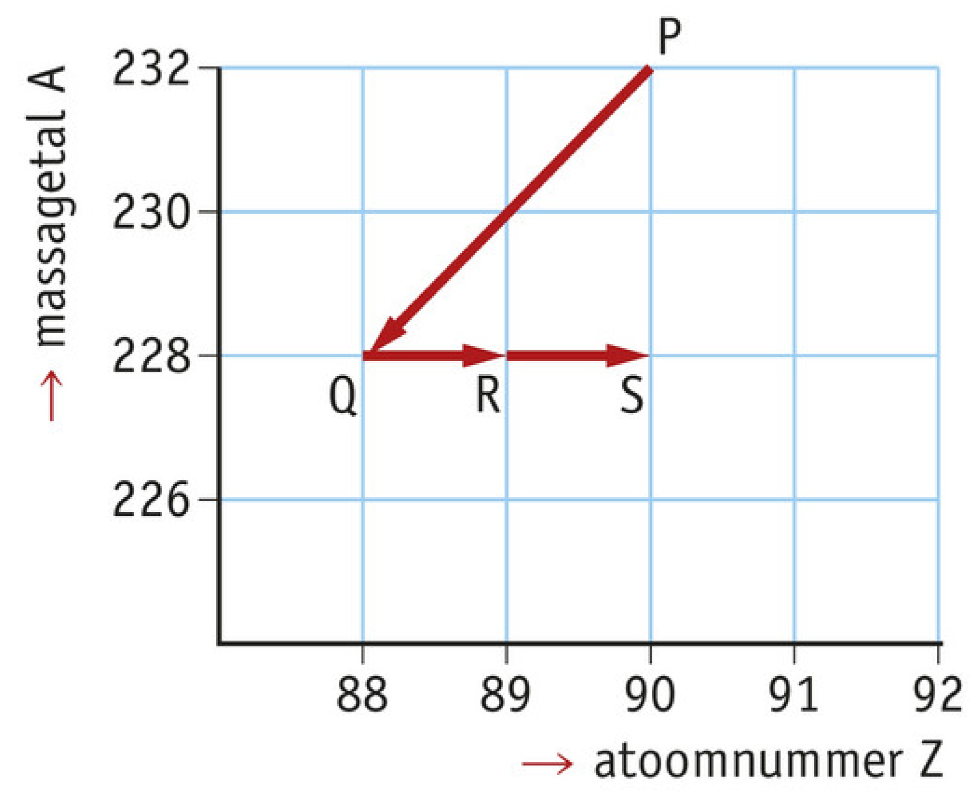
Stap 1 $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + ^{4}_{2}\text{He}$
Stap 2 $^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{234}_{91}\text{Pa} + \ldots$
Stap 3 $\ldots \rightarrow ^{234}_{92}\text{U} + ^{0}_{-1}\text{e}$
(...)
Stap 12 $^{210}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{\ldots}_{83}\text{Bi} + ^{0}_{-1}\text{e}$
Stap 13 $^{\ldots}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^{210}_{\ldots}\text{Po} + ^{0}_{-1}\text{e}$
Stap 14 $^{210}_{\ldots}\text{Po} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb} + \ldots$

◀ **figuur 29**
de vervalreeks van uranium-238

***30** Lees de tekst in figuur 30, een stukje uit een schoolboek.
Leg uit:
- **a** welk deeltje bij het verval van P naar Q wordt uitgezonden.
- **b** welk deeltje bij het verval van Q naar R wordt uitgezonden.
- **c** welke twee kernen in het rijtje P, Q, R en S isotopen zijn.

## Het (A,Z)-diagram

Opeenvolgende vervalreacties van radioactieve isotopen kunnen handig worden weergegeven in een zogeheten (A,Z)-diagram. In een (A,Z)-diagram is het aantal kerndeeltjes (A) van een isotoop uitgezet tegen het aantal protonen (Z). Een vervalproces wordt in het diagram door pijlen weergegeven. In bijgaand diagram is te zien dat een instabiele kern P vervalt naar kern Q, waarna deze vervalt naar kern R. Uiteindelijk vervalt deze naar de stabiele kern S.




▲ **figuur 30**
een (A,Z)-diagram

**Plus** Radioactiviteit om je heen

**31** Radon-222 ontstaat door het verval van radium-226.
- **a** Welk soort straling wordt bij dit verval uitgezonden?
- **b** In huis is de concentratie radon-222 veel hoger dan buiten.
  Geef hiervoor twee oorzaken.
- **c** Radon-222 kan longkanker veroorzaken als het in de longen terechtkomt.
  Leg uit hoe radon-222 uit de bodem in iemands longen verzeild kan raken.

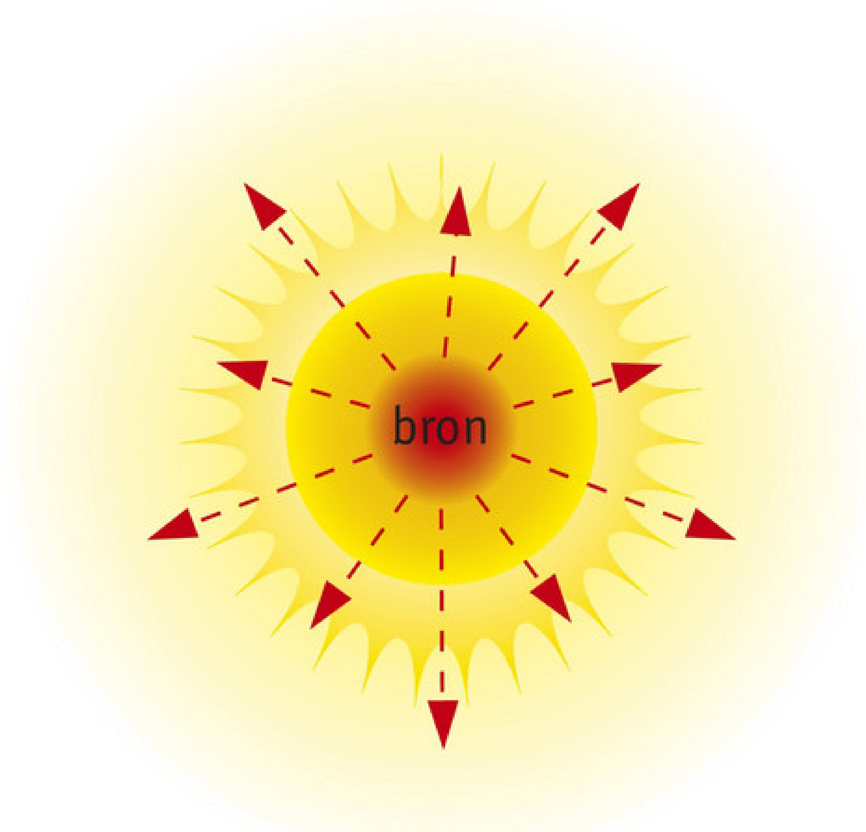
***32** Wat is het beste als je de hoeveelheid radon-222 in je huis zo klein mogelijk wilt houden?
- **a** Een houten huis of een huis van baksteen?
- **b** Een tochtig huis of een huis met nauwelijks ventilatie?
- **c** Een huis op de Veluwe of een huis in de Betuwe?
  Hint: kijk in je atlas.

# 4 Bescherming tegen straling

**De ioniserende straling die radioactieve stoffen uitzenden, kan schade in het lichaam aanrichten. Een hoge dosis straling kan zelfs levensgevaarlijk zijn. Daarom gelden er strenge veiligheidsregels voor het werken met radioactieve stoffen.**

## Doordringend vermogen

Een radioactieve stof is een bron van deeltjes en elektromagnetische golven. De deeltjes en golven bewegen in alle richtingen bij de bron vandaan. Natuurkundigen gebruiken het woord straling voor 'iets' dat bij een bron vandaan beweegt (figuur 31). Daarom worden de deeltjes én de golven allebei straling genoemd, al zijn ze verder heel verschillend.

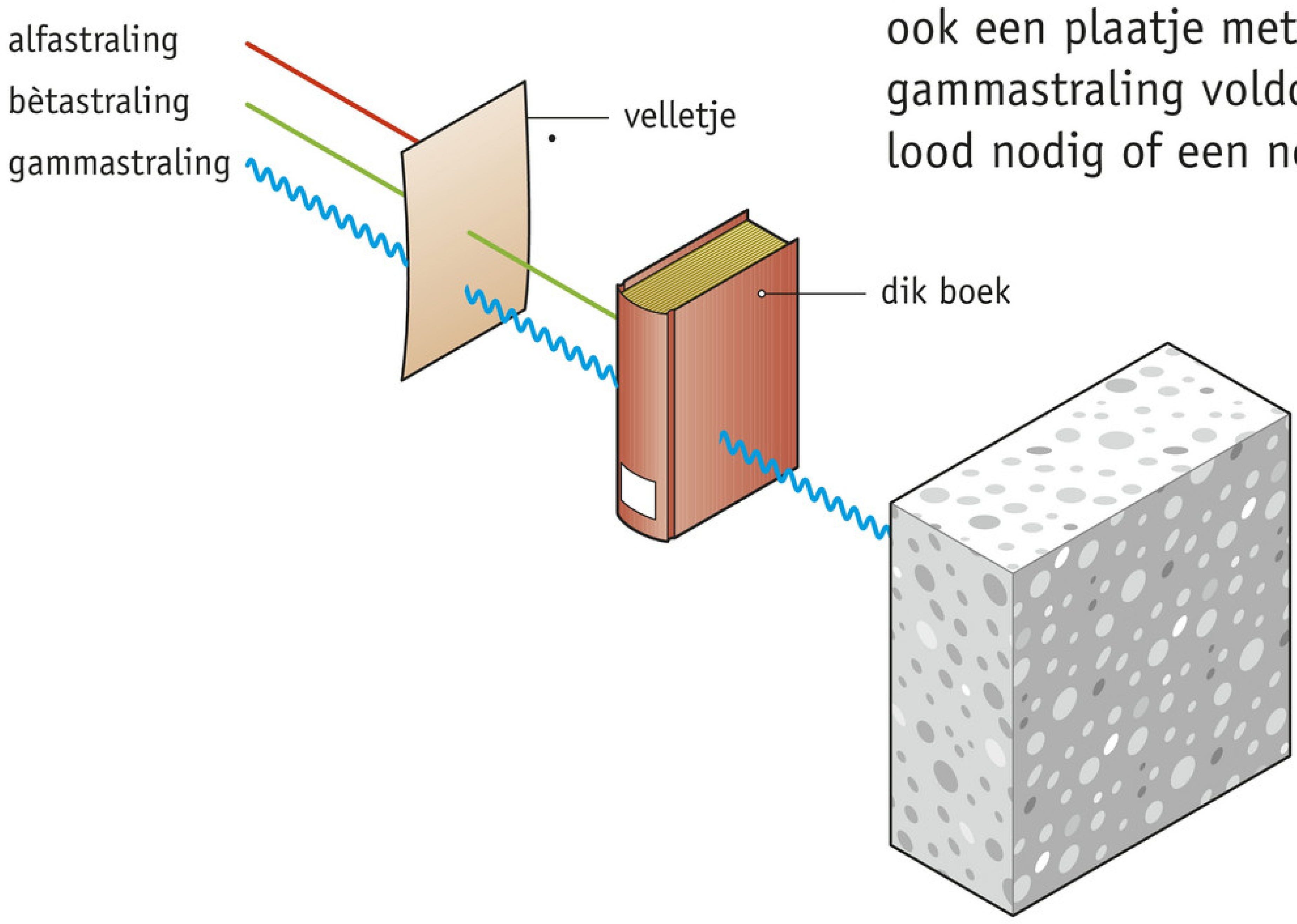



▲ **figuur 31**
Dit plaatje kun je voor elk soort straling tekenen.

Dat de verschillende soorten straling sterk van elkaar verschillen, zie je als je naar hun **doordringend vermogen** kijkt. Het ene soort straling kan veel dieper in stoffen doordringen dan het andere soort straling (figuur 32).

- De **alfastraling** (of $\alpha$-straling) die bij alfaverval ontstaat, kan niet ver in stoffen doordringen. Omdat een alfadeeltje relatief groot is, verliest het bij botsingen met atomen snel al zijn energie. Een vel papier, een paar centimeter lucht of de dode buitenste laag van je huid houdt de stroom alfadeeltjes al tegen.
- **Bètastraling** ($\beta$-straling) komt duidelijk verder dan alfastraling. Bètadeeltjes zijn veel kleiner dan alfadeeltjes en kunnen daardoor dieper in stoffen doordringen. In lucht komen ze enkele tientallen centimeters ver. Toch wordt de stroom bètadeeltjes vaak al gestopt door een 4 mm dik plaatje aluminium of een dunne plaat glas.
- **Gammastraling** ($\gamma$-straling) bestaat uit golven die zich met de lichtsnelheid voortplanten. Deze golven hebben een groot doordringend vermogen. Ze worden nauwelijks geabsorbeerd door lucht en ook een plaatje metaal houdt maar weinig gammastraling tegen. Om gammastraling voldoende af te schermen, is een centimeters dikke laag lood nodig of een nog dikkere laag beton.

▼ **figuur 32**
het doordringend vermogen van drie soorten straling

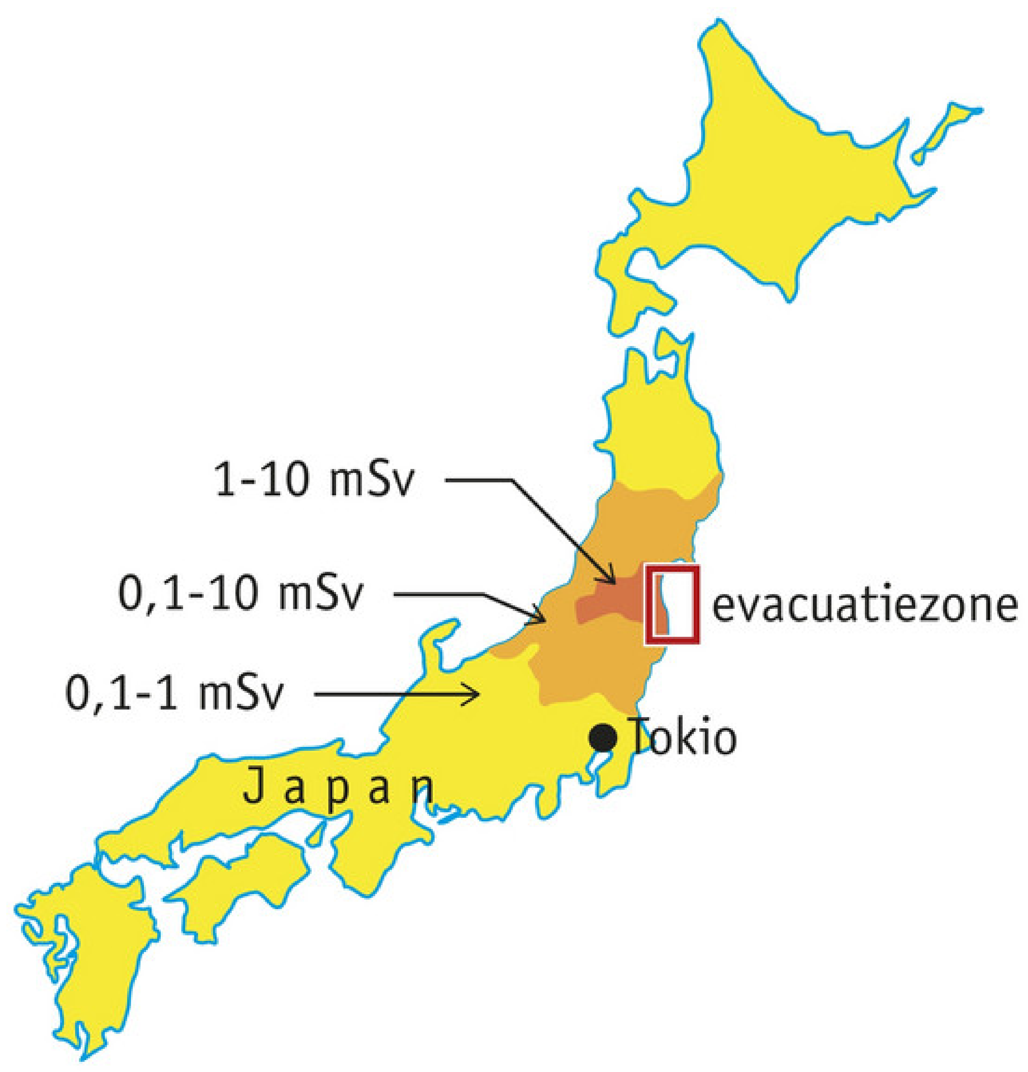


## Gevaren van straling

Alfa-, bèta- en gammastraling zijn alle drie sterk ioniserend. Ze kunnen moleculen kapotmaken, door elektronen uit het molecuul 'weg te schieten'. De kracht die de atomen bij elkaar houdt, valt dan weg en het molecuul valt uit elkaar. Eén alfadeeltje kan dat duizenden keren doen, voordat het zijn snelheid (en zijn energie) kwijt is.

Ioniserende straling kan mensen ziek maken, door het DNA en andere belangrijke moleculen in de cellen te beschadigen. De grootte van de schade hangt af van:

- de hoeveelheid stralingsenergie die iemand absorbeert: hoe groter die hoeveelheid energie, des te groter de schade;
- de soort straling: bij een zelfde hoeveelheid geabsorbeerde energie richt alfastraling veel meer schade aan dan bèta- of gammastraling.




▲ **figuur 33**
De stralingsbelasting na de kernramp in Fukushima werd aangegeven in sievert.

Als werknemers bestraald zijn, wordt de **equivalente dosis** bepaald waaraan ze hebben blootgestaan (figuur 33). Dat is een maat voor de hoeveelheid schade die de straling in hun lichaam heeft aangericht. De equivalente dosis wordt gemeten in sievert (Sv).

Een dosis van 1 Sv alfastraling is even schadelijk als een dosis van 1 Sv bèta- of gammastraling. Je zegt daarom dat deze doses equivalent zijn, ook al is de hoeveelheid energie verschillend. In tabel 5 kun je zien wat de gezondheidseffecten zijn van verschillende doses straling.

▼ **tabel 5** de gevolgen van stralingsbelasting voor het menselijk lichaam

| equivalente dosis (mSv) | effect op het lichaam |
|---|---|
| 0-250 | geen merkbare effecten |
| 250-1000 | misselijkheid en verlies van eetlust; beenmerg en lymfeklieren worden aangetast |
| 1000-3000 | ernstige misselijkheid; verlies van eetlust; infecties; tijdelijke vermindering witte bloedcellen; ernstige schade aan beenmerg en lymfeklieren |
| 3000-6000 | bloedingen; infecties; diarree; huidschade; onvruchtbaarheid |
| 6000-10 000 | aantasting centrale zenuwstelsel; slachtoffers overlijden binnen een paar dagen |
| > 10 000 | bewusteloosheid of coma; slachtoffers overlijden binnen enkele uren |

## Bescherming tegen bestraling

Als een radioactieve bron niet goed wordt afgeschermd, kan er van buitenaf ioniserende straling op je lichaam vallen. Dit wordt (uitwendige) **bestraling** genoemd. Omdat je lichaam niet in contact komt met radioactieve stoffen, word je zelf niet radioactief. Wel kunnen de cellen in je lichaam schade oplopen.



▲ figuur 34
Een container voor het vervoer van radioactieve stoffen. De binnen- en de buitenwand zijn van staal, met daartussen een dikke laag lood.

Bij bestraling is gammastraling verreweg het meest gevaarlijk. Alfadeeltjes kunnen door lucht slechts enkele centimeters reizen en bereiken je lichaam vaak niet eens. De snelste bètadeeltjes kunnen hoogstens enkele millimeters in de huid doordringen. Een laag plastic van 0,5 cm dik is vaak al genoeg om ze tegen te houden. Maar gammastraling heeft – net als röntgenstraling – een veel groter doordringend vermogen.

Mensen die met radioactieve bronnen werken, moeten zich daarom aan de volgende regels houden:

– Maak de **afstand** tot de bron zo groot mogelijk. Straling verspreidt zich als hij bij de bron vandaan beweegt, en wordt daardoor steeds zwakker.
– Houd de **tijd** waarin je bestraald wordt, zo kort mogelijk. Hoe korter die tijd is, des te minder stralingsenergie absorbeert je lichaam.
– Gebruik **afschermingsmateriaal** dat de straling absorbeert. Hoe groter de dichtheid van het materiaal, des te effectiever wordt de straling afgeschermd. Lood ($\rho$ = 11,3 g/cm$^3$) is een veelgebruikt afschermingsmateriaal (figuur 34).

## Besmetting voorkomen

Als radioactieve stoffen vrijkomen in het milieu, kunnen ze in je lichaam terechtkomen: met de lucht die je inademt, het water dat je drinkt en het voedsel dat je eet. Ook kunnen er radioactieve stoffen op je huid terechtkomen. Dit wordt **radioactieve besmetting** genoemd. Hierdoor loopt je lichaam niet alleen stralingsschade op, maar wordt het ook zelf een radioactieve bron.

Besmetting hoeft niet in één keer plaats te vinden. Radioactieve stoffen kunnen zich ook langzamerhand in bepaalde organen ophopen. Zo hoopt radioactief jood zich net als gewoon jood op in de schildklier. Calcium, strontium en radium concentreren zich in de botten. Radium kun je bijvoorbeeld binnenkrijgen met je voedsel (figuur 35).



▲ figuur 35
Paranoten bevatten een relatief grote hoeveelheid radioactief radium.



Veel veiligheidsregels rond radioactiviteit hebben als doel besmetting te voorkomen. Je mag bijvoorbeeld niet eten, drinken en roken in de buurt van radioactieve bronnen, en je moet altijd je handen wassen nadat je met radioactieve stoffen hebt gewerkt. Als er toch besmetting plaatsvindt, moet je de besmette kleding uittrekken en gaan douchen. Zo kun je de radioactieve stoffen op je huid en in je haren wegspoelen (figuur 36).

◀ **figuur 36**
De radioactieve stoffen worden met water van de materialen afgespoeld.

## Plus Radiotherapie

Artsen gebruiken ioniserende straling om tumoren te bestralen. Dat noem je **radiotherapie**. Dat kan van buitenaf (uitwendige bestraling) of van binnenuit het lichaam (inwendige bestraling). Kankercellen delen snel en zijn daardoor veel gevoeliger voor stralingsschade dan gezonde cellen.



Voor uitwendige bestraling wordt gebruikgemaakt van röntgenstraling en gammastraling (figuur 37). Tijdens de behandeling wordt de straling zorgvuldig op de tumor gericht en draait de stralingsbron langzaam om het lichaam heen. Op die manier wordt de schade aan het omringende gezonde weefsel tot een minimum beperkt.

Bij inwendige bestraling bevindt de stralingsbron zich in het lichaam. Een arts kan een holle naald gebruiken om een klein stukje radioactief materiaal (een 'zaadje') in het aangetaste weefsel te plaatsen. Het voordeel hiervan is dat de straling plaatselijk wordt afgegeven. Voor inwendige bestraling wordt zowel gamma- als bètastraling gebruikt.

◀ **figuur 37**
Een patiënt wordt klaargemaakt om te worden bestraald.

## opgaven Leerstof

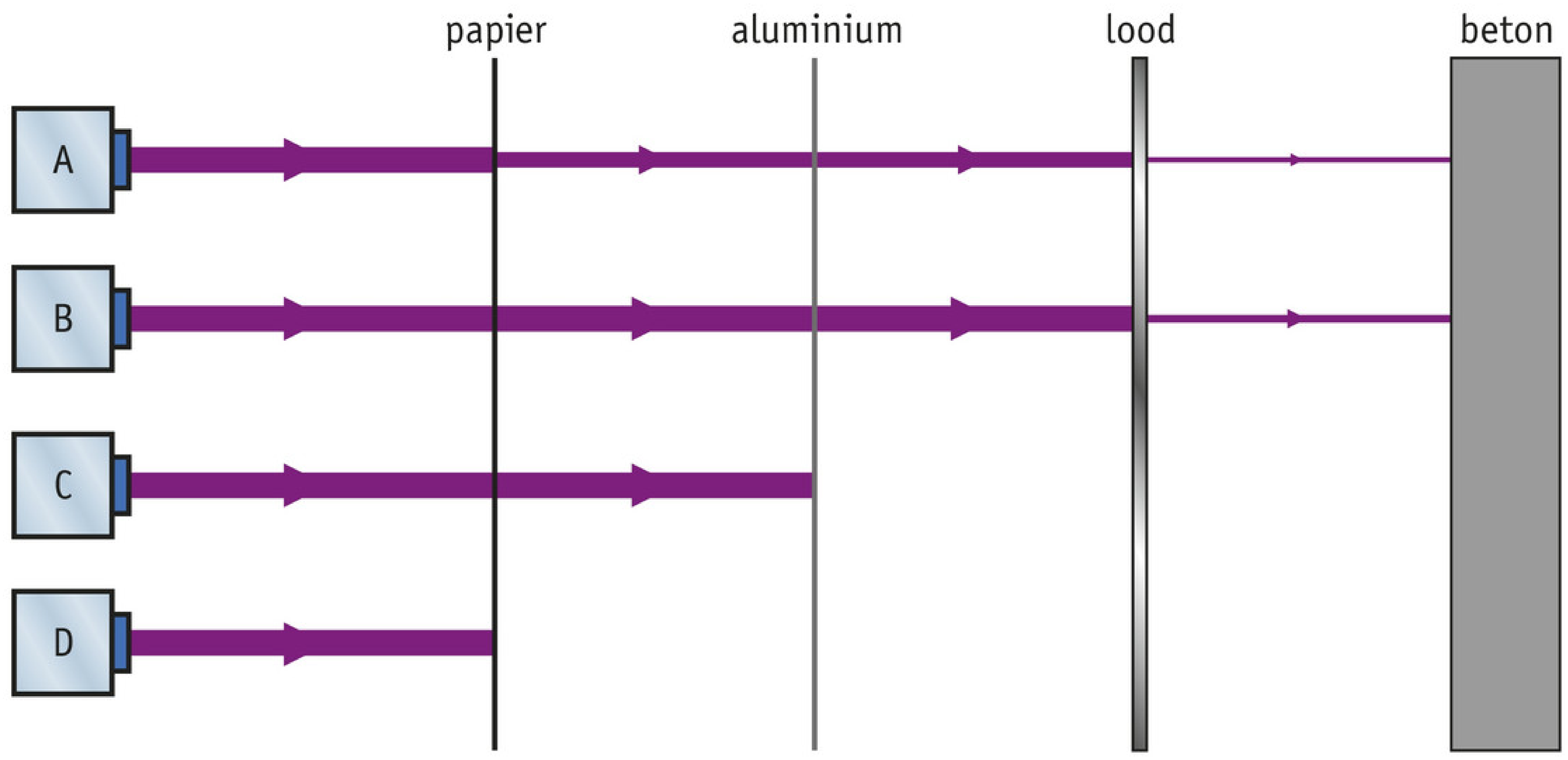
**33** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wanneer wordt een verschijnsel door natuurkundigen aangeduid als 'straling'?
- **b** Hoe groot is het doordringend vermogen van alfa-, bèta- en gammastraling?
- **c** Wat wordt bedoeld met de 'equivalente dosis'? In welke eenheid meet je die?
- **d** Wat is het verschil tussen bestraling en (radioactieve) besmetting? Leg uit.

**34** Leg uit:
- a waarom gammastraling gevaarlijker is dan alfastraling en bètastraling, als iemand van buitenaf wordt bestraald.
- **b** waarom alfastraling gevaarlijker is dan bètastraling en gammastraling, als de bron zich in het lichaam bevindt.
- **c** waarom lood geschikt is (en veel wordt gebruikt) om radioactieve bronnen van gammastraling af te schermen.

**35** Noteer vier manieren waarop mensen radioactief besmet kunnen raken.

## Toepassing

**36** Esther plaatst vier radioactieve bronnen voor plaatjes van verschillend materiaal. In figuur 38 is deze proef schematisch getekend. De dikte van de pijlen is een maat voor de hoeveelheid straling. Esther weet dat één bron alleen alfastraling uitzendt, één bron alleen bètastraling, één bron alleen gammastraling en één bron zowel alfastraling als gammastraling. Geef van elke bron aan welk(e) soort(en) straling deze bron uitzendt.




▶ **figuur 38**
Elk soort straling heeft een ander doordringend vermogen.

**37** In figuur 39 is een stukje tekst uit een schoolboek afgedrukt.
- **a** Leg uit wat de schrijver bedoelt met 'een alfastraler'.
- **b** Alfastralers kunnen onder andere longkanker veroorzaken. Hoe kan een alfastraler in iemands longen terechtkomen?
- **c** Alfastralers kunnen gemakkelijk in de longen blijven 'plakken'. Leg uit waarom dat erg nadelig is.

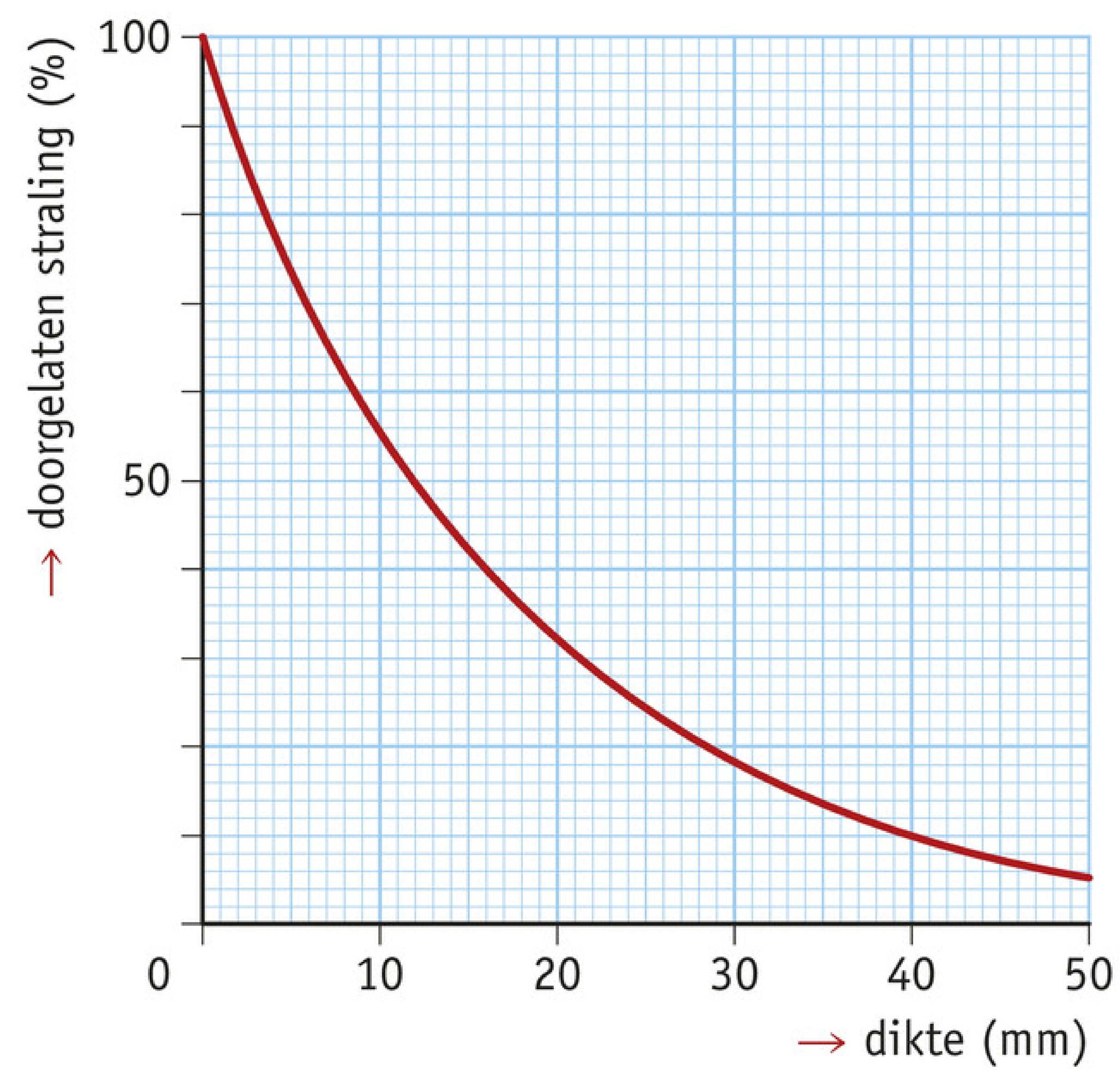
> Als je de verschillende soorten radioactiviteit op doordringingsvermogen vergelijkt, dan blijkt gammastraling door meters beton te worden weggevangen, bètastraling door millimeters aluminium of centimeters perspex te worden weggevangen en alfastraling nog niet door een velletje papier of 20 cm lucht te kunnen gaan. Toch blijken alfastralers de gevaarlijkste besmettingsbronnen te zijn voor de mens. De oorzaak hiervan is gelegen in het feit dat vele alfastralers, indien ingeademd of opgegeten, zich chemisch binden in het menselijk lichaam en daar lang actief blijven op korte afstand.

▶ **figuur 39**
het gevaar van alfastralers

**38** Lood wordt gebruikt om mensen af te schermen tegen gammastraling.

**a** Bepaal met de grafiek in figuur 40 hoe dik een loden afscherming moet zijn:
- om 50% van de opvallende gammastraling te absorberen.
- om 90% van de opvallende gammastraling te absorberen.

**b** Een container voor het vervoer van radioactieve stoffen heeft loden wanden met een dikte van 4,5 cm. In de container wordt een radioactieve bron gedaan die gammastraling uitzendt.
Hoeveel procent van de uitgezonden gammastraling houdt de container tegen?




◀ **figuur 40**
Hoe dikker de laag lood, hoe meer gammastraling wordt tegengehouden.

**39** Tomaten worden soms bestraald met straling uit een radioactieve bron. Dat helpt bederf te voorkomen en doodt schadelijke bacteriën.
Leg uit:

**a** welk soort straling geschikt is voor het bestralen van voedsel.

**b** of de tomaten door de bestraling zelf ook radioactief worden.

**c** aan welke eisen het omhulsel van de stralingsbron moet voldoen.

**40** Mensen die met stralingsbronnen werken, moeten zich aan allerlei veiligheidsregels houden. In figuur 41 zie je enkele voorbeelden.
Welke regel is bedoeld:

**a** om zo hygiënisch mogelijk met radioactieve stoffen te werken?

**b** om de straling zo goed mogelijk af te schermen van je lichaam?

**c** om de afstand tot de radioactieve bron zo groot mogelijk te maken?

**d** om de tijd dat je aan straling blootstaat, zo kort mogelijk te houden?

***41** Bemanningen van vliegtuigen worden blootgesteld aan extra ioniserende straling, omdat ze lange tijd op grote hoogten werken. Het gaat daarbij vooral om straling vanuit de ruimte: de zogeheten kosmische straling. De gemiddelde extra dosis voor cabinepersoneel is 2 mSv per jaar.

**a** Als een lid van de bemanning zwanger is, moet ze een vluchtschema krijgen waarbij de extra dosis niet hoger is dan 1 mSv per jaar.
Leg uit waarom een zwangere vrouw extra voorzichtig moet zijn om blootstelling aan te veel straling te voorkomen.



1. Voer alle handelingen snel (maar wel precies) uit.
2. Was je handen, nadat je met radioactieve stoffen gewerkt hebt.
3. Pak de stralingsbron niet met de handen beet, maar gebruik een tang.
4. Draag een loodschort als je met radioactieve stoffen werkt (zie foto).

▲ **figuur 41**
veiligheidsregels voor de omgang met radioactieve bronnen

**b** Een vlucht van Amsterdam naar Tokio levert een extra stralingsdosis op van 0,075 mSv.
Hoe vaak mag een zwanger bemanningslid dan een retourvlucht Amsterdam-Tokio maken?

**c** In Nederland ontvangt iedereen gemiddeld 2,5 mSv per jaar uit allerlei bronnen in het milieu.
Hoe vaak moet een bemanningslid op en neer vliegen van Amsterdam naar Tokio om die dosis te verdubbelen?

## Plus Radiotherapie

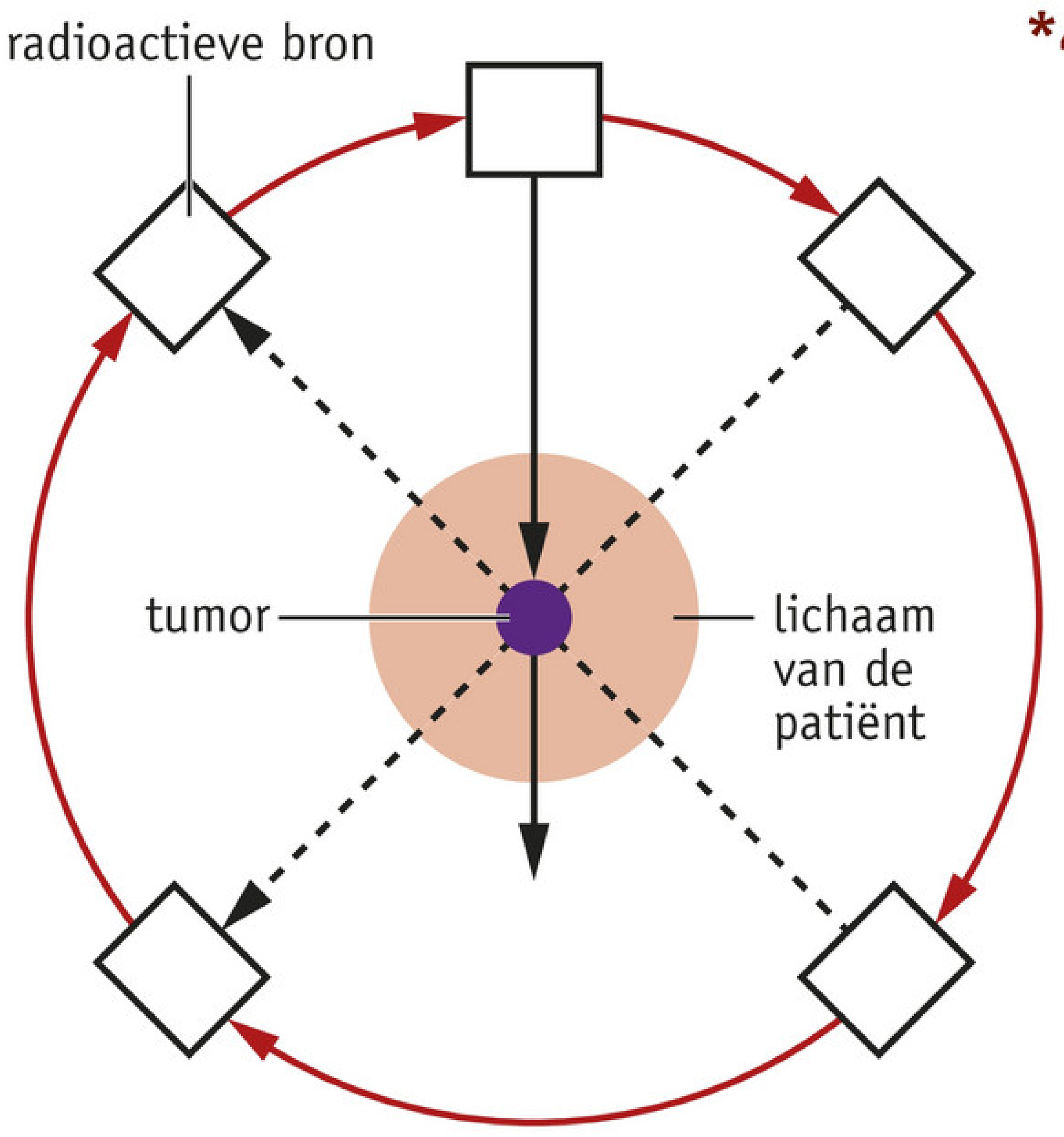
**42** In figuur 42 zie je hoe een tumor bestraald wordt. Tijdens de behandeling draait een bron met kobalt-60 rond het lichaam van de patiënt.

**a** Welk soort straling zendt kobalt-60 in elk geval uit? Licht je antwoord toe.

**b** Waarom moet de tumor zo veel mogelijk straling absorberen?

**c** Leg uit waarom de bron in een cirkel rond de patiënt draait.

**d** De bron zit opgesloten in een loden omhulsel met één opening.
Leg uit waar die opening voor dient en waar die zich (dus) bevindt.




▲ **figuur 42**
Een radioactieve bron draait rond een patiënt.

***43** In figuur 43 zie je een apparaat waarmee tumoren in het hoofd bestraald worden. Het hoofd van de patiënt bevindt zich daarbij in een goed afgeschermde halve bol, met daarin een groot aantal kobalt-60 bronnen. De straling van deze bronnen komt samen in één brandpunt.

**a** Elke bron draagt voor slechts 0,5% bij aan de totale hoeveelheid straling.
Hoeveel kobalt-bronnen zitten er in totaal in de halve bol?

**b** Hoe wordt ervoor gezorgd dat de tumor een zo hoog mogelijke dosis straling ontvangt?

**c** Waarom wordt het hoofd van de patiënt vooraf stevig vastgezet in een metalen frame?

**d** Geef een mogelijk voordeel van dit systeem ten opzichte van het systeem waarbij er één bron rond de patiënt draait (zelf bedenken).



▶ **figuur 43**
Een patiënt ligt klaar voor een behandeling met een 'gamma knife'.

# 5 Activiteit en halfwaardetijd




▲ figuur 44
Een onderzoeker houdt een geigerteller bij een radioactieve bron.

**In de techniek en in de geneeskunde worden tientallen radioactieve isotopen gebruikt. Voor elke toepassing wordt de meest geschikte isotoop gezocht. Daarbij spelen twee factoren een belangrijke rol: het soort straling dat wordt uitgezonden, en het tempo waarin de isotoop vervalt.**

## De activiteit meten

Met een geigerteller kun je radioactieve bronnen opsporen (figuur 44). Elke keer dat het apparaat een alfadeeltje, een bètadeeltje of een puls gammastraling registreert, hoor je een klik. De teller maakt geen verschil tussen alfa-, bèta- of gammastraling en meet ook niet de energie van het deeltje of de puls. Hij registreert alleen het feit dat een deeltje of een stralingspuls de sensor heeft bereikt.

Als je een geigerteller aanzet, geeft hij af en toe een klik. Dat is een gevolg van de **achtergrondstraling** die constant aanwezig is; er is altijd wel wat radioactiviteit in je leefomgeving. Als de teller opeens sneller begint te tikken, moet er een sterkere bron in de buurt zijn. Als de tikken te snel komen, zet je het geluid af en lees je op het scherm af hoe intens de straling is.

Met behulp van een geigerteller kun je een schatting maken van de **activiteit** van een bron. Dat is het aantal atoomkernen dat elke seconde vervalt. De eenheid van activiteit is de **becquerel** (Bq). Het duikershorloge in figuur 45 heeft bijvoorbeeld een activiteit van 2 MBq. Dat betekent dat er in de wijzers elke seconde twee miljoen atoomkernen vervallen. Dat is verhoudingsgewijs erg weinig. De bronnen die in ziekenhuizen en in de industrie gebruikt worden, hebben een veel grotere activiteit.




▲ figuur 45
De wijzers van dit duikershorloge bevatten tritium, een radioactieve stof.

## De halfwaardetijd

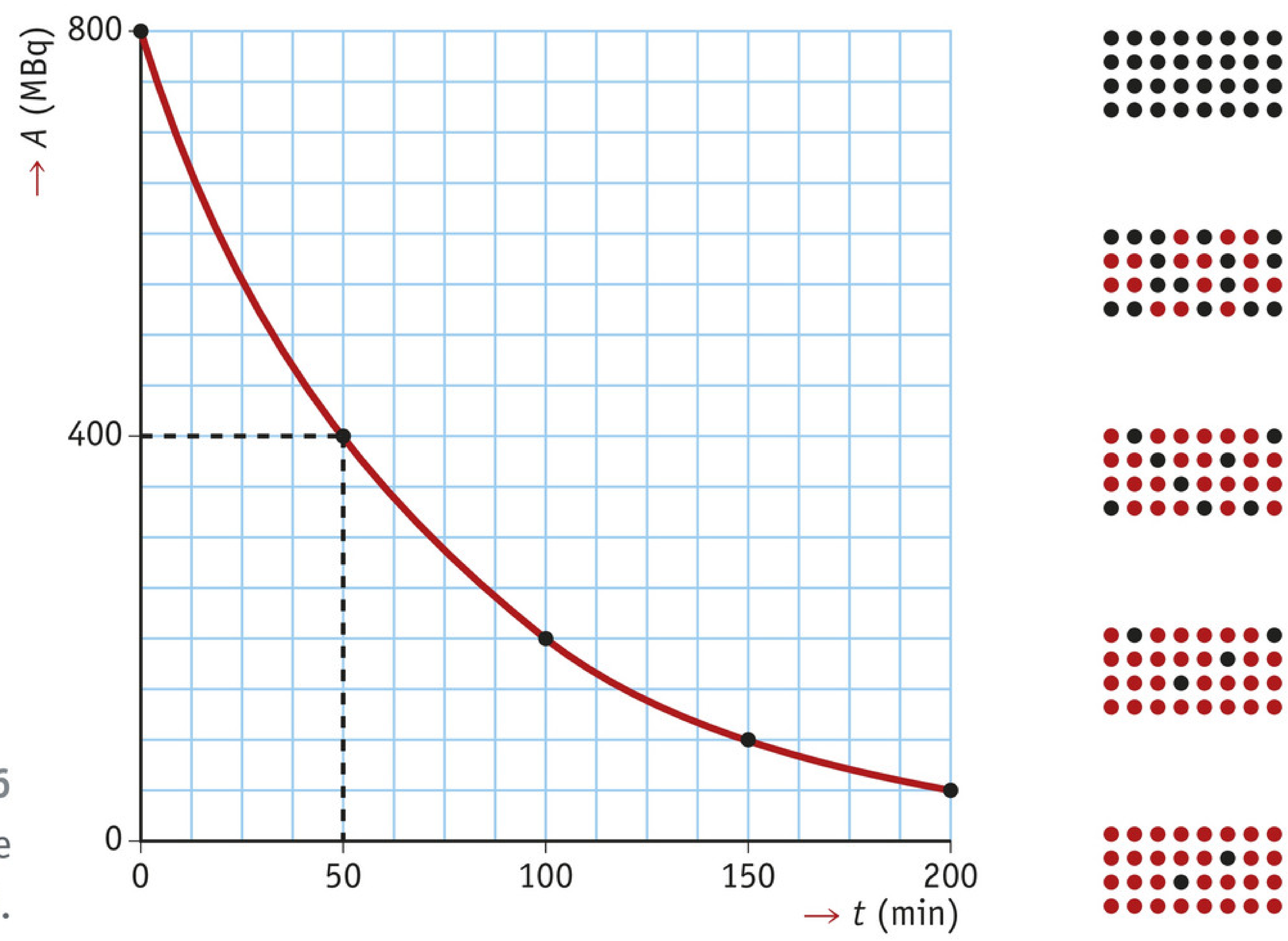
In een radioactieve bron bevindt zich een enorm aantal instabiele atoomkernen. Je kunt onmogelijk voorspellen wanneer één bepaalde atoomkern zal vervallen. Maar je kunt wel voorspellen wanneer de helft van alle atoomkernen verdwenen zal zijn. Elke radioactieve isotoop heeft een eigen, kenmerkende **halveringstijd** of **halfwaardetijd** $t_{½}$. Na die tijd:
– is de helft van de instabiele atoomkernen vervallen;
– is de activiteit van de bron met de helft verminderd.

Radioactieve isotopen hebben heel verschillende halfwaardetijden. Zo is de halfwaardetijd van uranium-238 ongeveer 4,5 miljard jaar, maar de halfwaardetijd van barium-144 slechts 12 seconden. Als de halfwaardetijd klein is, vervalt de stof heel snel en zal de activiteit dus relatief groot zijn. In tabel 6 kun je de halfwaardetijd van enkele veelgebruikte isotopen opzoeken.

▼ **tabel 6** de halfwaardetijd van enkele radioactieve stoffen

| stof | komt voor in | toepassing | halveringstijd |
|---|---|---|---|
| uranium-235 | gesteente | brandstofstaven in kerncentrales | 704 miljoen jaren |
| plutonium-239 | afval van kerncentrales | atoombommen | 24 400 jaren |
| radium-226 | gesteente | bestraling van kankergezwellen | 1620 jaren |
| koolstof-14 | atmosfeer | ouderdomsbepalingen | 5730 jaren |
| cesium-137 | afval van kerncentrales | bestraling van tumoren | 30 jaren |
| jood-131 | afval van kerncentrales | behandelen van schildklierafwijkingen | 8 dagen |
| technetium-99m | kunstmatig gemaakte tracers (merkstoffen) | medisch onderzoek | 6 uur |

Je kunt de halfwaardetijd van een radioactieve stof aflezen uit de **vervalkromme**. Dat is een grafiek waarin de activiteit van een hoeveelheid stof is uitgezet tegen de tijd. In figuur 46 zie je een voorbeeld. In dit geval neemt de activiteit in 50 minuten af van 800 MBq tot 400 MBq. Dat betekent dat de stof een halfwaardetijd heeft van 50 minuten.




▶ **figuur 46**
De activiteit van een radioactieve bron neemt af in de tijd.

## Medische isotopen

In ziekenhuizen worden radioactieve stoffen gebruikt met een halfwaardetijd van uren tot weken. Deze kortlevende medische isotopen komen niet (meer) in de natuur voor; daarvoor is hun levensduur te kort. Ze worden gemaakt in kernreactoren die speciaal voor dat doel zijn gebouwd.

In Nederland is één reactor waar zulke medische isotopen worden gemaakt. Deze reactor staat in Petten in Noord-Holland (figuur 47). Hij wordt beheerd door de NRG, een Nederlands bedrijf dat isotopen produceert voor ziekenhuizen in heel Europa. In 2013 kwam ongeveer een derde van de wereldproductie van medische isotopen hier vandaan.



◀ **figuur 47**
het reactorgebouw in Petten waar medische isotopen worden gemaakt



▲ figuur 48
Een laborant bereidt een injectie voor met sterk radioactief I-131.

***Voorbeeldopgave 2***
I-131 is een radioactieve isotoop van jood. Artsen gebruiken I-131 om er afwijkingen van de schildklier mee te behandelen (figuur 48). De halveringstijd is 8 dagen.
Een ziekenhuis ontvangt op een bepaald moment een hoeveelheid I-131 met een activiteit van 64 MBq.
Bereken hoe groot de activiteit van het I-131 na 40 dagen is.

gegevens: de halfwaardetijd $t_{½}$ = 8 dagen
de activiteit in het begin = 64 MBq

gevraagd: de activiteit na 40 dagen

uitwerking:
Na 8 dagen is de activiteit nog 32 MBq.
Na 16 dagen is de activiteit nog 16 MBq.
Na 24 dagen is de activiteit nog 8 MBq.
Na 32 dagen is de activiteit nog 4 MBq.
Na 40 dagen is de activiteit nog 2 MBq.

## Plus Tracers

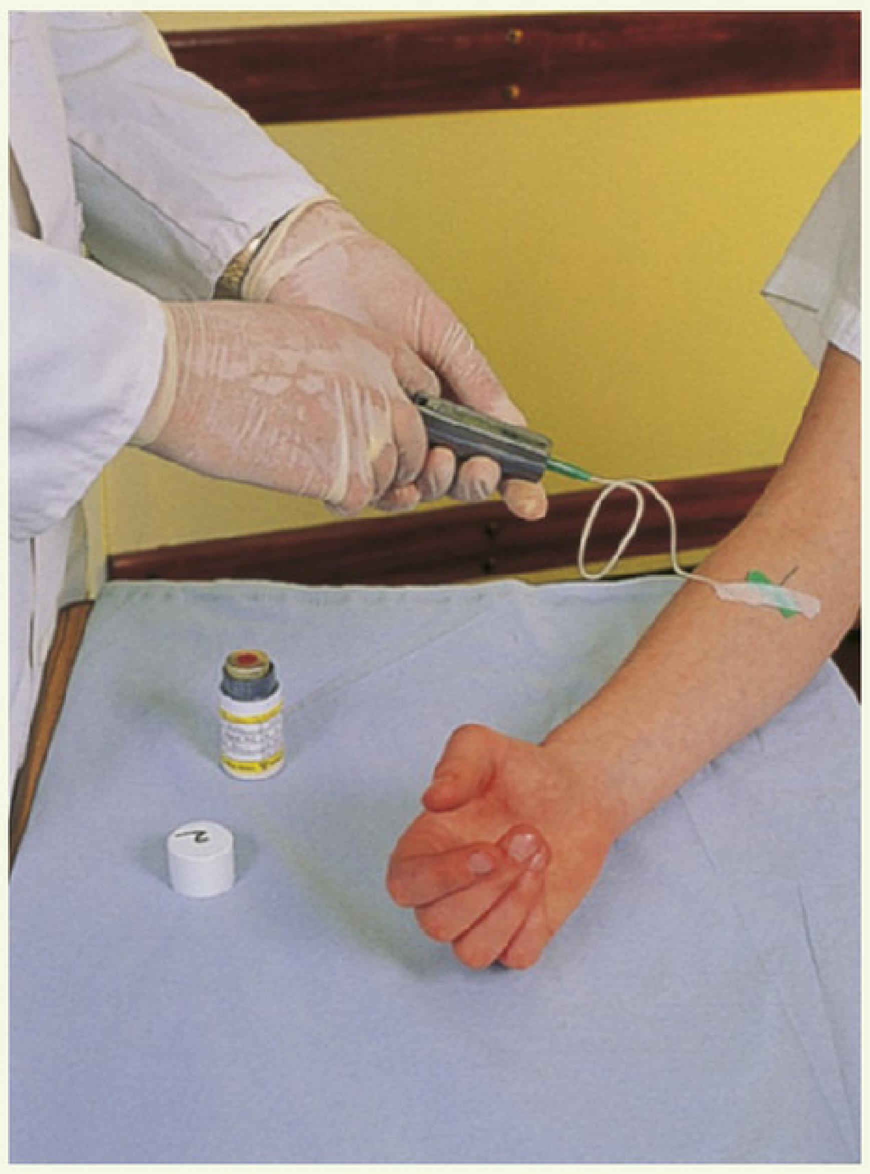
Artsen gebruiken radioactieve stoffen om te onderzoeken of organen zoals de nieren of de longen nog wel goed werken. Zo'n onderzoek verloopt als volgt (figuur 49):

1 In een laboratorium wordt een **tracer** (radioactieve merkstof) gemaakt. Dit is een stof die vooral wordt opgenomen door één orgaan, zoals de lever of de schildklier. De tracer wordt kunstmatig radioactief gemaakt door er instabiele atomen 'in te bouwen'. Hiervoor worden isotopen gebruikt met een korte halfwaardetijd die gammastraling uitzenden.

▶ figuur 49




a In het laboratorium wordt een tracer gemaakt.



b De tracer wordt in het lichaam van de patiënt geïnjecteerd.



c De gammacamera registreert de vrijkomende straling.

2 De tracer wordt in het lichaam van de patiënt gebracht. Meestal gebeurt dat door een injectie. De tracer verspreidt zich daarna door het lichaam, en komt zo bij het orgaan terecht dat onderzocht moet worden. Het orgaan neemt verhoudingsgewijs een grote hoeveelheid van de tracer op.
3 De gammastraling die de tracer uitzendt, kan voor een deel uit het lichaam ontsnappen. De straling die uit het lichaam komt, wordt geregistreerd door een gammacamera. Een computer in zo'n camera gebruikt de meetgegevens om een afbeelding te maken van het orgaan.

**opgaven**

## Leerstof

**44** Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Met welk meetinstrument kun je bronnen van radioactiviteit opsporen?
- **b** Wat wordt bedoeld met 'de activiteit van een radioactieve bron'? Leg uit.
- **c** In welke eenheid wordt de activiteit van een radioactieve bron gemeten?
- **d** Hoe noem je de ioniserende straling die er altijd is in onze leefomgeving?

**45** Een hoeveelheid barium-144 ($t_{½}$ = 12 s) heeft op $t$ = 0 s een activiteit van 100 kBq.
Teken een vervalkromme van deze bron die loopt van $t$ = 0 tot $t$ = 60 s.

## Toepassing

**46** In een handleiding voor een geigerteller staat:

> Houd een plaatje aluminium van circa 3 mm dik tussen het instrument en de bron. Als het aantal klikken afneemt of stopt, gaat het hoogstwaarschijnlijk om … [1]. Veel isotopen zenden daarnaast ook … [2] uit. Dat is er de oorzaak van dat het aantal klikken wel afneemt, maar niet helemaal stopt.

Welk soort straling is weggelaten:
- **a** bij [1]?
- **b** bij [2]?

***47** Als je een geigerteller vlak boven een radioactieve bron houdt, registreert hij de sterkste straling. Als je de teller daarna bij de bron vandaan beweegt, loopt de gemeten stralingsintensiteit snel terug.
- **a** Geef hiervoor twee mogelijke verklaringen.
- **b** Beschrijf een proef om een van die verklaringen te testen (zelf bedenken).

**48** Na 1945 hebben verschillende landen proeven gedaan waarbij ze atoombommen in de atmosfeer lieten ontploffen. Bij de proeven kwam onder andere radioactief strontium-90 in de atmosfeer terecht. Deze isotoop heeft een halveringstijd van 29 jaar.
In 1980 is de laatste kernproef in de atmosfeer gehouden.
Hoeveel procent van het strontium-90 dat toen gevormd is, zal in 2030 nog in het milieu aanwezig zijn? Tip: teken een vervalkromme om deze vraag te beantwoorden.

**49** Ziekenhuizen geven patiënten voor een onderzoek vaak een boekje met informatie. In figuur 50 is een stukje uit zo'n boekje afgedrukt.
**a** Hoe groot is de halveringstijd van de radioactieve stof die bij het onderzoek gebruikt wordt?
**b** Waarom wordt de moedermelk de eerste 24 uur na het onderzoek afgekolfd en vernietigd?
**c** Bij dit onderzoek wordt radioactief materiaal toegediend met een activiteit van 1200 MBq.
Leg uit wat er bedoeld wordt met 'een activiteit van 1200 MBq'.
**d** De activiteit van de toegediende stof neemt steeds verder af.
Hoe groot is de activiteit 24 uur na het toedienen van de stof?



Na het onderzoek zult u tijdelijk moeten stoppen met het geven van borstvoeding. De moedermelk wordt in die periode afgekolfd en zal daarna worden vernietigd. Als de radioactiviteit van de melk voldoende is gedaald, mag weer borstvoeding gegeven worden. Gelukkig heeft de gebruikte stof een korte halveringstijd: na 6 uur al is de radioactiviteit met de helft afgenomen. 24 uur na het begin van het onderzoek kunt u uw kind weer borstvoeding gaan geven.

▲ **figuur 50**
een fragment uit een brochure van een ziekenhuis

**50** In tabel 7 staan enkele medische isotopen die worden geleverd door de reactor in Petten.
**a** Van welke isotopen is na een maand nog meer dan 50% over?
**b** Van welke isotoop is na een week iets meer dan de helft over?
**c** Van welke isotoop is na twee dagen al meer dan de helft verdwenen?

▼ **tabel 7** enkele medische isotopen

| isotoop | halfwaardetijd |
|---|---|
| iridium-192 | 73,8 dagen |
| jood-125 | 60,1 dagen |
| jood-131 | 8,04 dagen |
| renium-186 | 3,78 dagen |
| samarium-153 | 1,95 dagen |
| strontium-89 | 50,5 dagen |
| xenon-133 | 5,25 dagen |

*Bron: www.nrg.eu/nl/irradiation-development/medische-isotopen/*

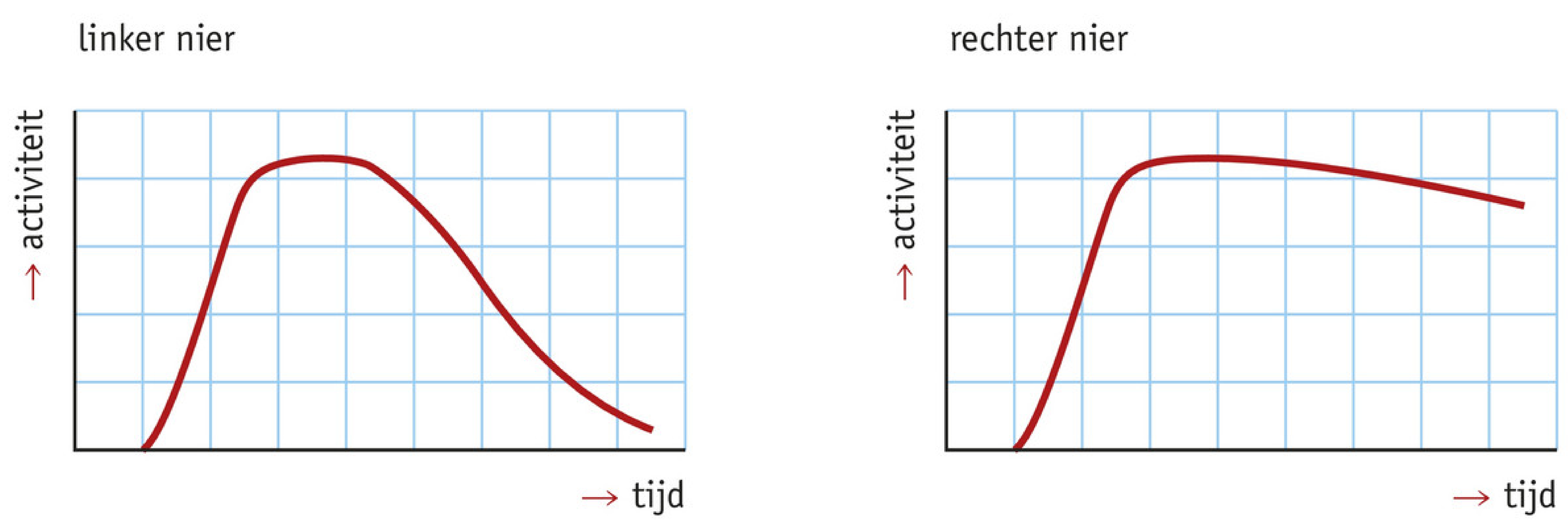
***51** Bij een experiment worden twee radioactieve bronnen gebruikt: de ene bevat jood-131, de andere jood-125. Op een gegeven moment is de activiteit van beide bronnen even groot.
Beredeneer met behulp van tabel 7:
**a** welke bron op dat moment de grootste hoeveelheid jood bevat.
**b** van welke bron de activiteit daarna het snelst zal afnemen.

**52** Zoek op internet informatie over een medische isotoop naar keuze.
- **a** Voor welke onderzoeken en/of behandelingen wordt de isotoop gebruikt?
- **b** Hoe verloopt zo'n onderzoek of zo'n behandeling? Kies één voorbeeld.
- **c** Met welk doel wordt het onderzoek of de behandeling uitgevoerd?
- **d** Moeten de patiënten iets doen om besmetting te voorkomen? Zo ja, wat dan? Zo nee, waarom hoeven ze zich daar geen zorgen over te maken?

## Plus Tracers

**53** Medische tracers worden kunstmatig radioactief gemaakt.
Leg uit waarom hiervoor isotopen gebruikt worden:
- **a** die een korte halfwaardetijd hebben.
- **b** die bij verval gammastraling uitzenden.

***54** De werking van de nieren kan onderzocht worden met een tracer die radioactief is gemaakt met technetium-99m. De tracer wordt door een injectie in de bloedbaan gebracht. Als de nieren van de patiënt goed werken, zal de tracer vanuit de nieren snel worden afgevoerd naar de blaas en in de urine terechtkomen.
- **a** Met detectoren wordt de activiteit in de nieren gemeten. In figuur 51 zie je hoe de activiteit in de nieren verandert met de tijd.
  Welke nier functioneert wel goed en welke niet? Leg uit waaraan je dat kunt zien.
- **b** Technetium-99 heeft een halfwaardetijd van 6 uur.
  Leg uit waarom 6 uur voor dit onderzoek een geschikte waarde is.
  Geef twee argumenten.




▶ **figuur 51**
De activiteit in de nieren van een patiënt als functie van de tijd.

# Test Jezelf

**Je kunt de vragen 1 tot en met 16 ook maken met de computer.**

**1** Neem over en vul in.
- **a** Van alle soorten … straling hebben radiogolven de langste golflengte.
- **b** De golflengte van zichtbaar licht ligt in tussen die van infrarood en … .
- **c** In het spectrum van licht heeft rood de … golflengte en violet de … .
- **d** De golflengte van … (< 10 pm) is korter dan die van röntgenstraling.

**2** Met welke snelheid planten elektromagnetische golven zich voort?
- A circa 300 000 m/h
- B circa 300 000 km/h
- C circa 300 000 km/s
- D circa 300 000 m/s

**3** Kies steeds de juiste mogelijkheid.
Röntgenstraling wordt:
- **a** door spieren en vetweefsel *doorgelaten* / *geabsorbeerd* / *gereflecteerd*.
- **b** door de botten in je lichaam *doorgelaten* / *geabsorbeerd* / *gereflecteerd*.

**4** Bloedvaten zijn normaal gesproken niet te zien op een röntgenopname. Als de bloedvaten wel te zien moeten zijn, wordt er voor het onderzoek een contrastvloeistof bij de patiënt ingespoten.
Welke eigenschap moet die contrastvloeistof hebben?
- A Hij moet röntgenstraling absorberen.
- B Hij moet röntgenstraling doorlaten.
- C Hij moet röntgenstraling uitzenden.
- D Hij moet röntgenstraling weerkaatsen.

**5** Neem over en vul in.
Kies uit: *niet – zwak – sterk*.
- **a** Gammastraling is … ioniserend.
- **b** Infrarode straling is … ioniserend.
- **c** (Zichtbaar) licht is … ioniserend.
- **d** Röntgenstraling is … ioniserend.
- **e** Ultraviolette straling is … ioniserend.

**6** In tabel 8 is de bouw van twee deeltjes P en Q weergegeven.
Noteer van de volgende beweringen of ze waar zijn of onwaar.
- **a** Justin beweert: “P en Q hebben allebei hetzelfde atoomnummer.”
- **b** Thomas beweert: “P en Q hebben allebei hetzelfde massagetal.”
- **c** Vincent beweert: “P en Q zijn isotopen van hetzelfde element.”

▼ **tabel 8** de samenstelling van twee atomen

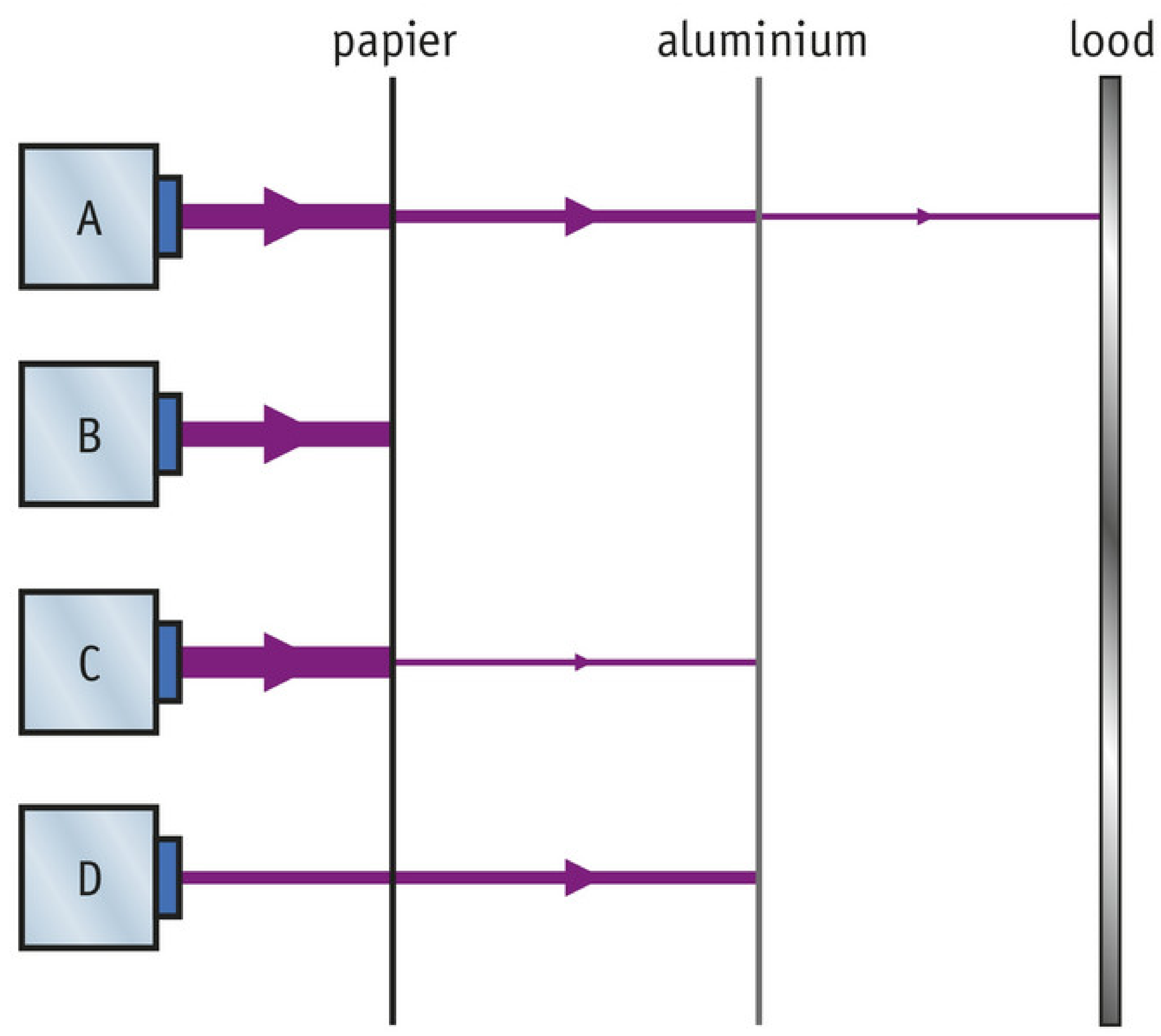
| atoom | protonen | neutronen | elektronen |
|---|---|---|---|
| P | 18 | 22 | 18 |
| Q | 20 | 20 | 18 |

**7** Cl-35 en Cl-37 zijn twee stabiele natuurlijke isotopen van chloor.
Wat is het verschil tussen een Cl-37 atoom en een Cl-35 atoom?
- A Een Cl-37 atoom heeft 1 proton en 1 neutron meer in zijn kern.
- B Een Cl-37 atoom heeft 2 protonen meer (en evenveel neutronen).
- C Een Cl-37 atoom heeft 2 neutronen meer (en evenveel protonen).
- D Dat kun je niet weten als je het atoomnummer van chloor niet kent.

**8** Hieronder staan twee voorbeelden van radioactief verval.
Neem de voorbeelden over en vul de ontbrekende getallen in.
- **a** ${}^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{\dots}_{\dots}\text{U} + {}^{4}_{2}\text{He}$
- **b** ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{\dots}_{\dots}\text{Y} + {}^{0}_{-1}\text{e}$

**9** Neem over en vul in.
- **a** Ioniserende straling kan in het lichaam grote schade aanrichten, door … in de cellen kapot te maken.
- **b** De grootte van de schade hangt af van de … straling die iemand absorbeert, en van de … straling.
- **c** De equivalente dosis, die wordt gemeten in de eenheid …, geeft aan hoe groot de aangerichte schade is.
- **d** Bij het bepalen van de equivalente dosis heeft … een zwaarder gewicht dan … of gammastraling.

**10** Vier verschillende radioactieve bronnen worden voor platen van verschillend materiaal geplaatst (figuur 52). De dikte van de pijlen is een maat voor de hoeveelheid straling.
Welke bron zendt:
**a** alleen α-straling uit?
**b** alleen β-straling uit?
**c** zowel α- als β-straling uit?
**d** zowel α-, β- als γ-straling uit?




▲ **figuur 52**
Welk soort straling zendt elke bron uit?

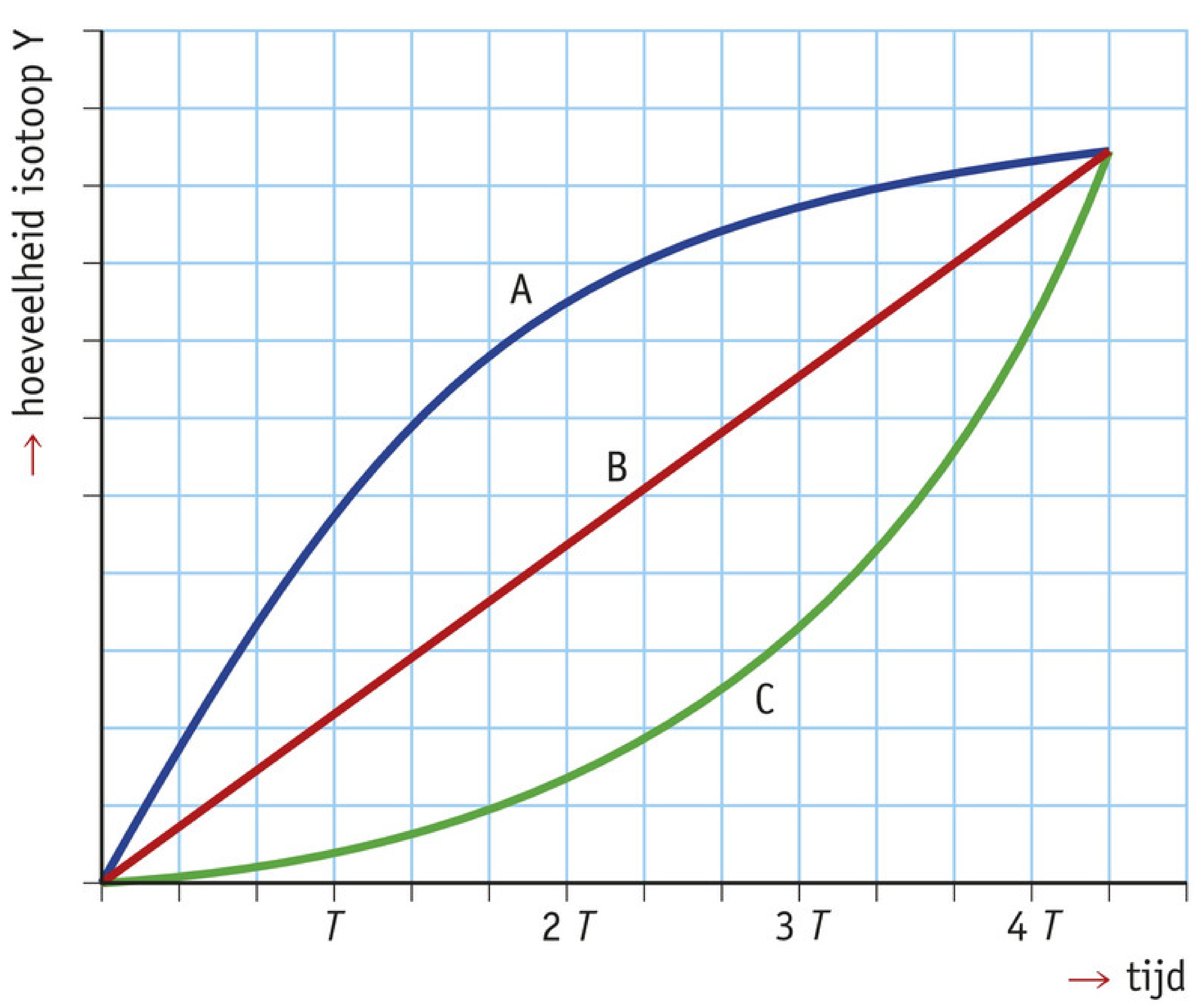
**11** Welk metaal wordt veel gebruikt om gammastraling af te schermen?
A aluminium
B lood
C uranium
D zilver

**12** Bekijk de volgende situaties:
1 Albert heeft bij de tandarts een röntgenfoto van een kies laten maken en daarbij een stralings dosis van 0,005 mSv opgelopen.
2 Betty heeft een handvol paranoten opgegeten. Deze noten bevatten een (voor voedingsmiddelen) opvallend grote hoeveelheid radium.
3 Carin smeert haar boterhammen op een granieten aanrechtblad in de keuken. Graniet bestaat voor een klein deel uit radioactief uranium.
4 David is verwarmingsmonteur en werkt regelmatig in kruipruimtes met een verhoogde concentratie van het radioactieve edelgas radon.
**a** In welke situatie(s) gaat het alleen om bestraling?
**b** In welke situatie(s) is er sprake van besmetting?

**13** Een radioactieve isotoop X met een halfwaardetijd *T* vervalt tot een stabiele isotoop Y. Op $t = 0$ is er in de bron nog geen Y aanwezig.
In welke grafiek (A, B of C) in figuur 53 is de toename van isotoop Y juist getekend?

**14** In een ziekenhuis wordt 80 mg xenon-133 in een kluis opgeborgen. De halveringstijd van deze radioactieve isotoop is 5,25 dagen.
Bereken hoeveel milligram van deze stof na drie weken nog over is.

**15** Een radioactieve bron bevat de isotoop vanadium-148. Deze isotoop heeft een halfwaardetijd van 16 dagen.
Na hoeveel dagen is 90% van de vanadium-48 atomen vervallen?
A ca. 53 dagen
B ca. 65 dagen
C ca. 77 dagen
D ca. 89 dagen
E ca. 101 dagen
F ca. 113 dagen




▲ **figuur 53**
Welke grafiek geeft de toename van isotoop Y juist weer?

**16** Noteer of de volgende beweringen waar of onwaar zijn.

**a** In het vacuüm planten alle soorten elektromagnetische straling zich voort met de lichtsnelheid.

**b** Röntgenstraling wordt door je spieren sterk geabsorbeerd, terwijl je botten bijna alle straling doorlaten.

**c** Bij extreem lage temperaturen vervalt een radioactieve stof langzamer dan bij kamertemperatuur.

**d** Als mensen radioactief worden besmet, heeft dat tot gevolg dat ze zelf ook radioactief worden.

**e** De achtergrondstraling is nooit nul, omdat er altijd wel wat radioactiviteit in je leefomgeving is.

**17** Lassers dragen een lashelm (figuur 54). Het glas dat in de helm zit, houdt zowel ir-straling, licht als uv-straling tegen.

**a** Stel dat de lasser géén helm zou dragen. Welk soort straling zou dan:
- de lasser tijdens het lassen te veel verblinden?
- de ogen van de lasser blijvend beschadigen?
- het gezicht van de lasser erg heet maken?

**b** Welk soort straling mag niet volledig tegengehouden worden? Leg uit waarom.



▲ **figuur 54**
lassen met een lashelm

**18** In een bedrijf worden aardappels bestraald om parasieten en micro-organismen te vernietigen, en de kieming te remmen. De aardappels worden daarvoor op een lopende band onder een stralingsbron doorgevoerd. De bron bevat kobalt-60, een radioactieve isotoop die bèta- en gammastraling produceert. De halfwaardetijd van kobalt-60 is 5,3 jaar.
In 2007 werd een nieuwe kobalt-60 bron in bedrijf genomen die op dat moment 10 000 kg aardappelen per dag kon bestralen.

**a** Naarmate de tijd verstrijkt, moet de snelheid van de lopende band steeds verder worden teruggebracht.
Leg uit waarom dat nodig is.

**b** In de loop van 2017 moet de hoeveelheid aardappelen die per dag onder de bron doorgaan, worden teruggebracht tot:
A 7500 kg per dag.
B 5000 kg per dag.
C 2500 kg per dag.
D 1250 kg per dag.

**c** De bètastraling draagt nauwelijks bij aan het onschadelijk maken van de micro-organismen in de aardappelen.
Wat is daarvan de oorzaak?

**19** Bij deze opgave heb je werkblad 7-1 nodig.
In een laboratorium wordt gemeten hoeveel straling een stralingsbron uitzendt. De resultaten van deze meting staan in tabel 9. De hoeveelheid straling is gemeten in de eenheid becquerel (Bq).

**a** Teken op het werkblad de vervalkromme bij deze meetgegevens.

**b** Bepaal de halveringstijd van de radioactieve stof.

**c** Is de activiteit van deze bron na 10 minuten gedaald tot 0 Bq? Hoe weet je dat?

▼ **tabel 9** een radioactieve bron

| tijd (min) | activiteit (Bq) |
|---|---|
| 0 | 720 |
| 1,0 | 450 |
| 2,0 | 285 |
| 3,0 | 180 |
| 4,0 | 110 |
| 5,0 | 70 |
| 6,0 | 45 |

**20** In een fabriek wordt de dikte van staalplaten gecontroleerd. De staalplaat wordt daarbij onder een stralingsbron doorgehaald (figuur 55a). Een stralingsmeter meet hoeveel straling de plaat doorlaat. In figuur 55b zie je hoe de hoeveelheid doorgelaten straling afhangt van de dikte van de plaat.

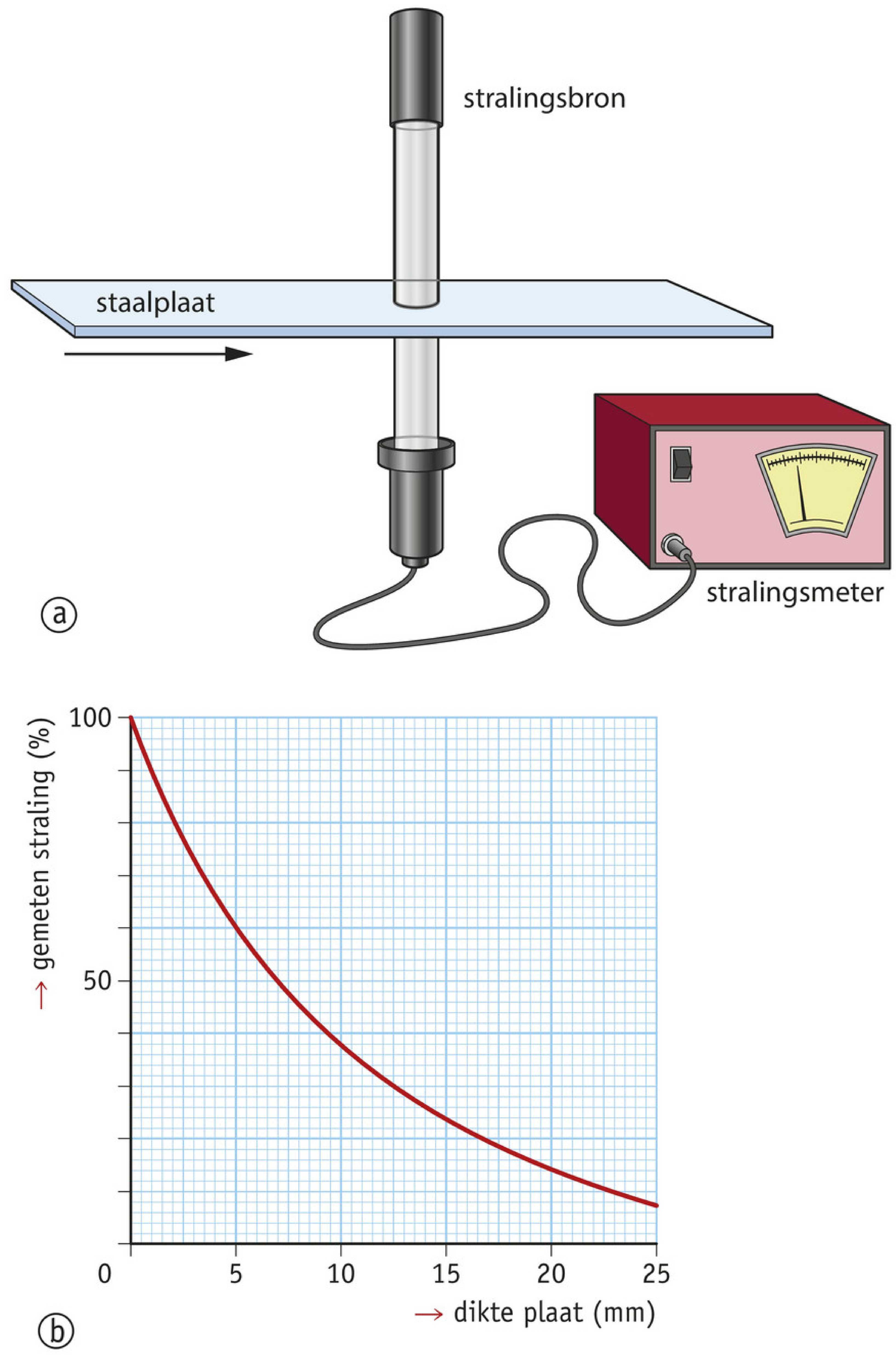
**a** Als stralingsbron kan gekozen worden uit de isotopen in tabel 10.
Leg uit voor welk isotoop hier gekozen moet worden als stralingsbron. Geef twee argumenten.

▼ **tabel 10** enkele isotopen en hun eigenschappen

| isotoop | soort straling | halfwaardetijd |
|---|---|---|
| strontium-90 | β | 28 jaar |
| kobalt-60 | β, γ | 5 jaar |
| cerium-141 | β, γ | 32 dagen |

**b** Een plaat heeft de juiste dikte, als hij 40% van de straling doorlaat.
Bepaal hoe dik zo'n plaat moet zijn.

**c** Op één plaats laat de plaat 45% van de straling door.
Is de plaat daar te dik of te dun? Licht je antwoord toe.




▲ **figuur 55**
Op deze manier kan de plaatdikte bepaald worden.



# De kunst van het ontmaskeren

**Het is de nachtmerrie van elke kunstverzamelaar: een bedrag met vijf nullen neertellen voor een schilderij uit de Gouden Eeuw en dan later moeten horen: “Sorry meneer, mevrouw, we hebben het onderzocht en er is helaas geen twijfel mogelijk: dat schilderij van u kan onmogelijk uit de zeventiende eeuw komen. Het doek is antiek, maar de verf is recent, nog geen veertig jaar oud. Het lijkt erop dat u zich hebt laten beetnemen …”**

Het zijn niet alleen kunstliefhebbers die zich laten bedriegen. Het overkomt de echte professionals net zo goed. In België ontstond enkele jaren geleden rumoer rond een *Madonna met Kind* van – dacht iedereen – meesterschilder Rogier van der Weyden (1499-1464). Het schilderij hing al vijftig jaar in het Museum van Schone Kunsten in Doornik en was volgens kenners een meesterwerk …

Iedereen was dan ook stomverbaasd toen de waarheid aan het licht kwam. Uit onderzoek bleek dat de *Madonna met Kind* het werk is van een twintigste-eeuwse vervalser. “Niets op het doek is vijftiende-eeuws,” zegt Roger van Schoute, een van de deskundigen, hoofdschuddend. En toch ziet het schilderij er volkomen authentiek uit, tot het *craquelé* (de haarscheurtjes in de verf) aan toe.

Kunstkenners zullen het niet snel toegeven, maar een goede vervalsing herken je niet met het blote oog. Verzamelaars en museumdirecteuren vertrouwen daarom steeds vaker op wetenschappelijk onderzoek. Daarbij wordt op allerlei manieren naar het schilderij gekeken: niet alleen met zichtbaar licht, maar ook met infrarood (ir), ultraviolet (uv) en röntgenstraling. Elke vorm van straling onthult bijzonderheden die je anders niet te zien krijgt.

## Verborgen lagen

Een olieverfschilderij heeft een complexe opbouw met verschillende lagen en laagjes. De onderste laag is de drager: een opgespannen doek of een houten paneel. Daarop bracht de schilder eerst een plamuurlaag aan. Daarna maakte hij met houtskool een tekening van de compositie die hij had uitgedacht.

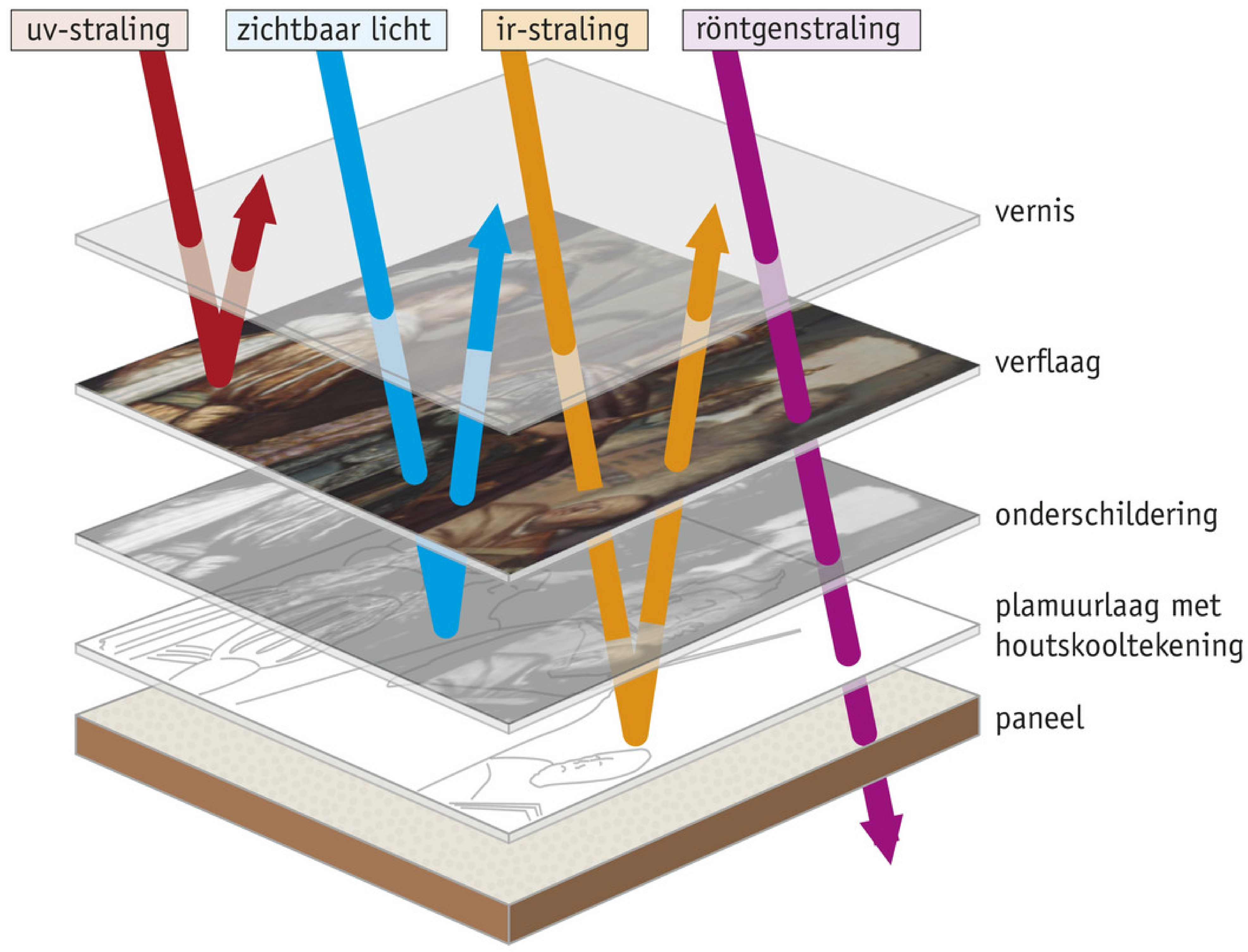
Pas daarna begon het echte schilderen met olieverf. Ook dat ging in lagen: eerst een onderschildering met weinig kleur, en daarna allemaal dunne half-doorzichtige verflaagjes. Langzaam ontstond een schilderij met levensechte diepe kleuren. Ten slotte werd een doorzichtige vernislaag op de schildering aangebracht als bescherming tegen stof en vuil.

Kunstkenners zullen het niet snel toegeven, maar een goede vervalsing herken je niet met het blote oog.

## Een schilderij doorlichten

Voor elke laag bestaan er onderzoekstechnieken. De vernislaag wordt bijvoorbeeld getest met uv-straling. Die laat het vernis oplichten, zoals een bankbiljet oplicht onder een uv-lamp. Aan de manier waarop de vernislaag fluoresceert, kun je zien hoe oud het vernis is. De natuurlijke vernissen uit vroegere eeuwen stralen groengeel licht uit. Moderne synthetische lakken lichten op in wit of paars.

Om de dieper gelegen verflagen te onderzoeken, wordt röntgenstraling gebruikt. Iedere verflaag bestaat uit kleine korreltjes pigment (kleurstof) in een bindmiddel zoals lijnolie. De meeste pigmenten laten röntgenstraling ongehinderd passeren. Dat geldt niet voor pigmenten die zware metalen bevatten, zoals lood of kwik. Die absorberen de röntgenstraling wel en zijn daardoor goed zichtbaar op een röntgenfoto.






Pigmenten met zware metalen speelden vroeger een belangrijke rol in de schilderkunst. De oude meesters gebruikten onder andere loodwit (een loodverbinding), lood-tingeel (een loodverbinding met tin) en vermiljoen (een rode verbinding van kwik en zwavel). Deze pigmenten zijn erg giftig. Nu worden ze weinig of niet meer gebruikt, maar eens waren ze in elk schildersatelier te vinden.

Loodwit was een belangrijk bestanddeel van de onderschildering: de eerste globale versie van een olieverfschilderij die als basis diende voor de volgende lagen. Je kunt zo'n onderschildering dankzij het absorberende loodwit goed onderscheiden op een röntgenfoto. De onderschildering moet in grote lijnen kloppen met het schilderij dat je ziet. Als de onderschildering er heel anders uitziet, is dat een aanwijzing voor fraude.

### Reflecties in infrarood

Houtskool bestaat uit koolstof, dat transparant is voor röntgenstraling. Op een röntgenfoto zie je daarom niets van de houtskooltekening waar de schilder ooit mee begonnen is. Om deze tekening zichtbaar te maken, gebruiken de onderzoekers ir-straling. Dat werkt beter, omdat houtskool diepzwart is en ir-straling sterk absorbeert.

De ir-straling passeert de verflagen van het schilderij, wordt daarna weerkaatst door de plamuurlaag en beweegt dan weer terug naar buiten. Alleen op plaatsen waar houtskool is aangebracht, gaat het anders. Daar wordt de ir-straling geabsorbeerd, zodat daar weinig of geen gereflecteerde straling vandaan komt.

Een speciale infraroodcamera vangt de gereflecteerde straling op en zet die om in een zwart-witbeeld. Daarop is de houtskooltekening verrassend duidelijk te zien. Onderzoekers bekijken zo'n tekening zorgvuldig, om te zien of die van de meesterschilder zelf is. Als dat zo is, gaat het hoogstwaarschijnlijk om een origineel werk. Als dat niet zo is, is het schilderij waarschijnlijk gemaakt door iemand anders.

### Dateren met koolstof-14

In schilderijen zitten altijd organische materialen, zoals het schilderslinnen of het hout waarop



## De koolstof-14 methode

Onder invloed van kosmische straling uit het heelal wordt er boven in de atmosfeer steeds nieuw koolstof-14 aangemaakt. Hierdoor blijft de verhouding tussen het stabiele koolstof-12 en het radioactieve koolstof-14 in de atmosfeer min of meer constant.
Een plant neemt zolang hij leeft koolstof op uit de atmosfeer. Hierdoor komen beide isotopen in de plant voor, in dezelfde verhouding als in de atmosfeer. Dat verandert als de plant wordt geoogst; een dode plant neemt geen koolstof-14 meer op.
Door natuurlijk verval neemt de hoeveelheid koolstof-14 daarna steeds verder af. Door de verhouding tussen het resterende koolstof-14 en koolstof-12 te meten, kunnen onderzoekers de ouderdom van het materiaal bepalen.





geschilderd werd. Deze materialen zijn van plantaardige oorsprong en kunnen daarom gedateerd worden met de koolstof-14 methode. Door te kijken naar de hoeveelheid radioactief koolstof-14 in het materiaal, kan de ouderdom ervan vrij nauwkeurig bepaald worden.

Als de koolstof-14 methode een veel te jonge leeftijd oplevert, weet je dat het om een vervalsing moet gaan. Het omgekeerde gaat niet op. Een vervalser kan een oud maar waardeloos schilderij kopen en zijn vervalsing daar eenvoudigweg overheen schilderen. Om uitsluitsel te geven over de echtheid van een schilderij is naast koolstof-14 datering altijd aanvullend onderzoek nodig.

Dat aanvullend onderzoek is de sleutel. Als een schilderij een vervalsing is, zijn er altijd wel dingen die niet kloppen. Maar je weet van tevoren niet waar je precies naar moet kijken. Je weet zelfs niet zeker of het wel om een vervalsing gaat. Het is de kunst om geduldig te blijven zoeken – totdat je die ene misser vindt die het bedrog ontmaskert.

## Opgaven

**1** Het vernis op een schilderij gaat fluoresceren als er uv-straling opvalt. Het vernis zendt dan ook zelf straling uit.

**a** Tussen welke grenzen ligt de golflengte van de uitgezonden straling? Waaruit leid je dat af?

**b** Leg uit waarom het niet verstandig is om een schilderij langdurig aan sterke uv-straling bloot te stellen.

**2** Bij het onderzoeken van oude schilderijen worden vaak röntgenfoto's gemaakt. Het schilderij wordt daarvoor plat neergelegd, met de röntgenbron er een eindje boven en de stralingsdetector er vlak onder.

**a** Maakt het uit of de onderzoeker het schilderij 'met de goede kant omhoog' legt of 'met de goede kant naar beneden'? Leg uit.

**b** Hoe komt het dat de onderschildering op een röntgenfoto vaak goed te zien is, terwijl de verflagen daarboven vrijwel onzichtbaar zijn?

**c** Kun je op een röntgenfoto ook zien in welke laag een bepaald pigment gebruikt is? Leg uit waarom wel of waarom niet.

**3** Zoek op internet een *carbon dating calculator*.

**a** Het doek van een schilderij bevat nog 95% van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14. Hoe oud is het linnen dus?

**b** Een bekend schilderij van de Italiaanse schilder Giotto is circa 1310 geschilderd op een houten paneel. Hoeveel van de oorspronkelijke hoeveelheid koolstof-14 in het hout is er nu op zijn hoogst nog over?

**c** Waarom staat er in vraag b: 'op zijn hoogst'? Leg uit.





# Vaardigheden

## Gegevens verzamelen en verwerken

**Bij het vak natuurkunde gaat het zowel om kennis (wat je weet) als om vaardigheden (wat je kunt). Bij die vaardigheden horen onder andere het bouwen van proefopstellingen, het verzamelen van meetgegevens, het uitvoeren van berekeningen en het tekenen van grafieken. In dit deel van het boek vind je een overzicht.**

# 1 Onderzoek doen

Het doen van onderzoek begint met een onderzoeksvraag. Je maakt een plan om achter het antwoord te komen, en voert dat plan daarna zelf uit. Daarbij ga je stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Bedenk een onderzoeksvraag.**
  Soms staat de onderzoeksvraag al in de opdracht vermeld. Dan hoef je er alleen maar over na te denken hoe je die vraag kunt beantwoorden. Soms wordt van jou verwacht dat je zelf een onderzoeksvraag bedenkt. Wees daarbij niet te gauw tevreden: je moet wel een idee hebben hoe je jouw vraag kunt beantwoorden. Formuleer je onderzoeksvraag zo precies mogelijk, voor je verdergaat.

- **Stap 2: Maak een werkplan.**
  In je werkplan schrijf je op:
  - welke grootheden je gaat meten;
  - welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
  - welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
  - welke metingen je gaat uitvoeren;
  - (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

- **Stap 3: Uitvoeren en uitwerken**
  Je bouwt de proefopstelling en voert daarmee de geplande metingen uit. Na elke meting noteer je de meetwaarden overzichtelijk, bijvoorbeeld in een tabel. Na afloop werk je de metingen verder uit, bijvoorbeeld door een grafiek te tekenen of door berekeningen te maken. Raadpleeg daarvoor zo nodig de andere vaardigheden.

- **Stap 4: Conclusies trekken**
  Als alles goed gegaan is, kun je nu conclusies trekken. Die conclusies vormen samen het antwoord op je onderzoeksvraag. Een conclusie is geen samenvatting van de meetresultaten, maar iets wat je uit die meetresultaten afleidt (concludeert). Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

- **Stap 5: Een verslag maken**
  Tot slot maak je een verslag van je onderzoek. Zie vaardigheid 10.

# 2 Werken met grootheden en eenheden

Een grootheid is iets wat je kunt meten. Voorbeelden van grootheden zijn massa, kracht, weerstand en tijd. Om een grootheid te kunnen meten, heb je een eenheid nodig. Je meet de massa in kilogram, de kracht in newton, de weerstand in ohm en de tijd in seconden.

Vaak past de grootte van een eenheid niet goed bij de grootte van wat je wilt meten. In zo'n geval kun je een voorvoegsel voor de eenheid zetten. In plaats van "De dikte is 0,0003 meter" schrijf je: "De dikte is 0,3 mm."

Je kunt een voorvoegsel altijd vervangen door een macht van 10 (en omgekeerd). In plaats van "Door de leidingen te isoleren, bespaar je 4,8 GJ aan warmte" kun je ook schrijven: "Door de leidingen te isoleren, bespaar je $4{,}8 \cdot 10^9$ J aan warmte." Zie tabel 1.

▼ **tabel 1** voorvoegsels en hun betekenis

| voorvoegsel | afkorting | betekenis | voorbeeld |
|---|---|---|---|
| giga | G | $10^9$ | 1 GJ = $10^9$ J |
| mega | M | $10^6$ | 1 MW = $10^6$ W |
| kilo | k | $10^3$ | 1 kN = 1000 N |
| hecto | h | $10^2$ | 1 hPa = 100 Pa |
| deca | da | $10^1$ | 1 dam = 10 m |
| deci | d | $10^{-1}$ | 1 dL = 0,1 L |
| centi | c | $10^{-2}$ | 1 cm = 0,01 m |
| milli | m | $10^{-3}$ | 1 mΩ = 0,001 Ω |
| micro | µ | $10^{-6}$ | 1 µg = $10^{-6}$ g |
| nano | n | $10^{-9}$ | 1 ns = $10^{-9}$ s |

Soms zijn er voor één grootheid verschillende eenheden in gebruik. Denk aan temperatuur (°C en K) of aan elektrische energie (J en kWh). In dat geval is het soms nodig om een gegeven om te rekenen van de ene eenheid naar de andere.

***Voorbeeldopgave 1***
Volgens een website is de gemiddelde temperatuur op Mars 210 K. Hoeveel graden Celsius is dat?

$T$ (in K) = $t$ (in °C) + 273

$210 = t + 273 \rightarrow t = 210 - 273 = -63$ °C

***Voorbeeldopgave 2***
Volgens een consumentenorganisatie verbruikt een gemiddeld Nederlands gezin ± 3500 kWh elektrische energie per jaar.
Hoeveel is dat in joule?

1 kWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J

3500 kWh = $3500 \times 3{,}6 \cdot 10^6$ J = $1{,}26 \cdot 10^{10}$ J (of 12,6 GJ)

# 3 Werken met machten van 10

Bij het vak natuurkunde krijg je regelmatig te maken met getallen die erg groot of juist erg klein zijn. Er is een handige manier bedacht om dat soort getallen op te schrijven. Voor grote getallen gebruik je positieve machten van 10. Voor kleine getallen gebruik je negatieve machten van 10.

**positieve machten**
$10^1 = 10$
$10^2 = 10 \times 10 = 100$
$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$
enzovoort

**negatieve machten**
$10^{-1} = 1/10 = 0{,}1$
$10^{-2} = 1/100 = 0{,}01$
$10^{-3} = 1/1000 = 0{,}001$
enzovoort

Als je dat wilt, kun je een macht van 10 vervangen door een voorvoegsel. In plaats van “Het vermogen van de centrale is $4{,}75 \cdot 10^8$ W” kun je ook schrijven: “Het vermogen van de centrale is 475 MW.” Reken maar na: $4{,}75 \cdot 10^8$ W = $475 \cdot 10^6$ W = 475 MW (M = $10^6$).

***Voorbeeldopgave 3***
De kerncentrale in Gravelines (Frankrijk) heeft een elektrisch vermogen van 5460 MW. In de praktijk wordt maar 75% van dit vermogen ook echt geleverd. Gemiddeld is 25% van het vermogen niet beschikbaar, vooral vanwege onderhoud.
Bereken hoeveel kWh elektrische energie de kerncentrale in één jaar levert.

75% van 5460 MW = 4095 MW
$P$ = 4095 MW = $4095 \cdot 10^6$ W = $4095 \cdot 10^3$ kW
$t = 365 \times 24 = 8760$ h

$E = P \cdot t$
$= 4095 \cdot 10^3 \times 8760$
$= 3{,}5872 \cdot 10^{10}$ kWh $\approx 36 \cdot 10^9$ kWh

De centrale produceert elk jaar 36 miljard kWh elektrische energie.

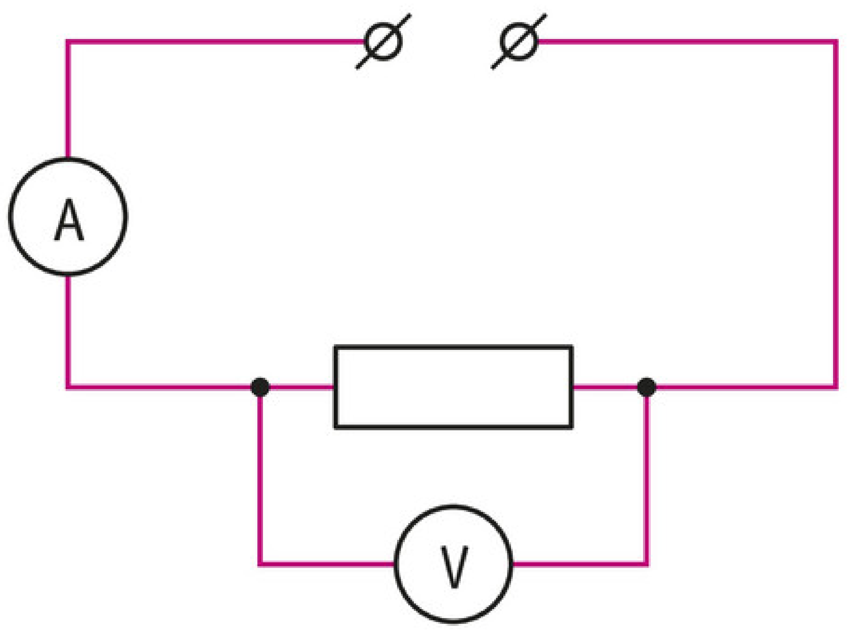
▼ **tabel 2** voorbeelden van machten van 10 uit de natuur

| | lengte (m) | massa (kg) | tijd (s) |
|---|---|---|---|
| $10^{-10}$ | diameter atoom | | |
| $10^{-9}$ | | | |
| $10^{-8}$ | diameter kleinste virus | | |
| $10^{-7}$ | | massa zandkorrel | |
| $10^{-6}$ | diameter bacterie | massa regendruppel | |
| $10^{-5}$ | diameter rode bloedcel | | |
| $10^{-4}$ | dikte papier | massa vlieg | duur bliksemflits |
| $10^{-3}$ | | | |
| $10^{-2}$ | dikte vinger | massa muis | |
| $10^{-1}$ | | | reactietijd mens |
| $10^{0}$ | lengte mens | massa pak suiker | tijd tussen twee hartslagen |
| $10^{1}$ | | | record 100 m hardlopen |
| $10^{2}$ | lengte supertanker | massa mens | |
| $10^{3}$ | | massa auto | één kwartier |
| $10^{4}$ | maximale diepte oceaan | | |
| $10^{5}$ | | massa jumbojet | één dag |
| $10^{6}$ | diameter maan | | |
| $10^{7}$ | diameter aarde | | één jaar |
| $10^{8}$ | | massa supertanker | |
| $10^{9}$ | | | levensduur mens |
| $10^{10}$ | | | |
| $10^{11}$ | afstand zon-aarde | | ouderdom piramides |
| $10^{12}$ | | | |

# 4 Werken met meetinstrumenten

Bij het vak natuurkunde werk je met allerlei meetinstrumenten. Om een goede meting uit te kunnen voeren, ga je stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Bepaal welk(e) meetinstrument(en) je nodig hebt.**
  Bij een onderzoek wil je een vraag beantwoorden zoals:
  *Klopt het elektrisch vermogen dat op dit apparaat vermeld staat?*
  Je weet dat je het elektrisch vermogen kunt bepalen met de formule $P = U \cdot I$. Dat betekent dat je de spanning ($U$) en de stroomsterkte ($I$) moet meten. Je heb dus twee meetinstrumenten nodig: een spanningsmeter en een stroommeter.




▲ **figuur 1**
Zo sluit je een spanningsmeter en een stroommeter aan.

- **Stap 2: Sluit het meetinstrument aan.**
  Stroom- en spanningsmeters moeten correct aangesloten worden: een stroommeter in serie met het apparaat, een spanningsmeter parallel (figuur 1).
  Bij gelijkstroom en -spanning is ook de stroomrichting van belang.
  Je moet de plus-kant van de meter verbinden met de pluspool van de spanningsbron, en de min-kant met de minpool. Meestal is de plus-kant een rood busje, en de min-kant een zwart busje (figuur 2).




▶ **figuur 2**
Hoe groot is de stroomsterkte?

- **Stap 3: Kies het juiste meetbereik.**
  Stroom- en spanningsmeters hebben vaak meer dan één meetbereik. Je kunt het meetbereik dat je moet gebruiken, als volgt vinden:
  - Maak een proefmeting met het grootste meetbereik.
  - Kijk hoe groot de stroomsterkte of de spanning ongeveer is.
  - Kies het kleinste meetbereik waarbij de meter nog afgelezen kan worden.
    Hoe kleiner het gebruikte meetbereik, des te nauwkeuriger is het meetresultaat.

- **Stap 4: Lees het meetinstrument af.**
  Veel meetinstrumenten hebben een schaalverdeling. Bij het aflezen van zo'n meetinstrument bepaal je eerst hoeveel elk streepje waard is. Daarna lees je zo nauwkeurig mogelijk de meetwaarde af.
  Bij de stroommeter in figuur 2 redeneer je bijvoorbeeld als volgt:
  - Ik heb het meetbereik van 0 tot 0,5 A gebruikt.
  - Tussen 0,3 en 0,4 A zijn er tien tussenruimtes.
  - Elk streepje is dus 0,1/10 = 0,01 A waard.
  - De wijzer staat op het zesde streepje.
  - De stroomsterkte is dus 0,36 A.

# 5 Werken met formules

Bij het vak natuurkunde moet je regelmatig berekeningen maken. Ga daarbij stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Lees de opgave.**
  Lees de opgave en schat in welke buurt de uitkomst zal liggen. In voorbeeldopgave 4 wordt gevraagd hoelang een waterkoker erover doet om een kop water aan de kook te brengen. Je weet dat je dan enkele tientallen seconden tot een minuut moet wachten. Een paar seconden is duidelijk te weinig en vijf minuten is duidelijk te veel.

- **Stap 2: Noteer de gegevens.**
  Vertaal alle gegevens in letters en cijfers, en noteer ze. Een gegeven zoals '44 kJ warmte' noteer je bijvoorbeeld als: $E = 44$ kJ $= 4{,}4 \cdot 10^4$ J.

- **Stap 3: Schrijf de formule(s) op.**
  Sommige formules kun je op verschillende manieren opschrijven. Neem de vorm waarin de te berekenen grootheid voor het is-teken (=) staat. Je schrijft dus:

  – $E = P \cdot t$ als je de hoeveelheid energie ($E$) wilt berekenen;

  – $P = \dfrac{E}{T}$ als je het vermogen ($P$) wilt berekenen;

  – $t = \dfrac{E}{P}$ als je de benodigde tijd ($t$) wilt berekenen.

- **Stap 4: Vul de gegevens in.**

- **Stap 5: Werk de berekening uit.**

- **Stap 6: Noteer de uitkomst.**
  De uitkomst is een getal + een eenheid. De eenheid moet kloppen met de gegevens: als je het vermogen invult in watt (W) en de tijd in seconden (s), dan vind je de hoeveelheid energie in joule (J). Zie ook vaardigheid 6 over het afronden van de uitkomst.

- **Stap 7: Controleer de uitkomst.**
  Vergelijk de uitkomst met de schatting die je in het begin maakte. Ga ook na of je geen reken- of overschrijffouten hebt gemaakt.

***Voorbeeldopgave 4***
Om het water voor een kop thee aan de kook te brengen, is 44 kJ warmte nodig.
Hoelang doet een waterkoker van 1800 W erover om deze hoeveelheid warmte te leveren?

gegevens $E = 44\ \text{kJ} = 4{,}4 \cdot 10^4\ \text{J}$
$P = 1800\ \text{W}$

gevraagd $t = ?$

uitwerking $t = \dfrac{E}{P} = \dfrac{4{,}4 \cdot 10^4}{1800} \approx 24\ \text{s}$

# 6 Uitkomsten afronden

De uitkomst van een berekening kan niet nauwkeuriger zijn dan de gegevens die je hebt gebruikt. Daarom worden uitkomsten van berekeningen vaak afgerond. Anders lijkt het of de uitkomst heel nauwkeurig is, terwijl dat in werkelijkheid niet zo is.

De uitkomst van een vermenigvuldiging of deling rond je als volgt af:

- Het antwoord moet even veel cijfers hebben als het getal in de opgave met de minste significante cijfers. Significante cijfers zijn de cijfers die de nauwkeurigheid van een getal bepalen. Je lengte staat bijvoorbeeld op je identiteitsbewijs in drie significante cijfers vermeld: 1,76 m bijvoorbeeld of 1,90 m.

- Nullen aan het begin van een getal tellen niet mee als je het aantal significante cijfers bepaalt: 25 cm heeft evenveel significante cijfers als 0,25 m. Nog enkele voorbeelden:
  - 2,0 heeft twee significante cijfers en 0,2 heeft maar één significant cijfer,
  - 0,22 en 0,022 hebben allebei twee significante cijfers,
  - 2,02 heeft drie significante cijfers.

- Om correct af te ronden, kijk je naar het eerste cijfer dat je moet schrappen. Als dat een 5 of meer is, moet je ‘naar boven afronden’. Dat betekent dat je het cijfer daarvóór met 1 moet verhogen. Is het cijfer dat je schrapt een 4 of lager, dan hoef je het cijfer daarvoor niet te verhogen.

Als je het antwoord in drie cijfers moet geven:
- rond je 2,345 af op 2,35;
- rond je 2,354 ook af op 2,35;
- rond je 2,395 af op 2,40;
- rond je 2,404 ook af op 2,40;
- enzovoort.

***Voorbeeldopgave 5***
Als er een spanning van 134 mV over een weerstand staat, is de stroomsterkte 1,9 mA.
Bereken de weerstand.

gegevens $U$ = 134 mV = 0,134 V
$I$ = 1,9 mA = 0,0019 A

gevraagd $R$ = ?

uitwerking $R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{0{,}134}{0{,}0019} \approx 71\ \Omega$

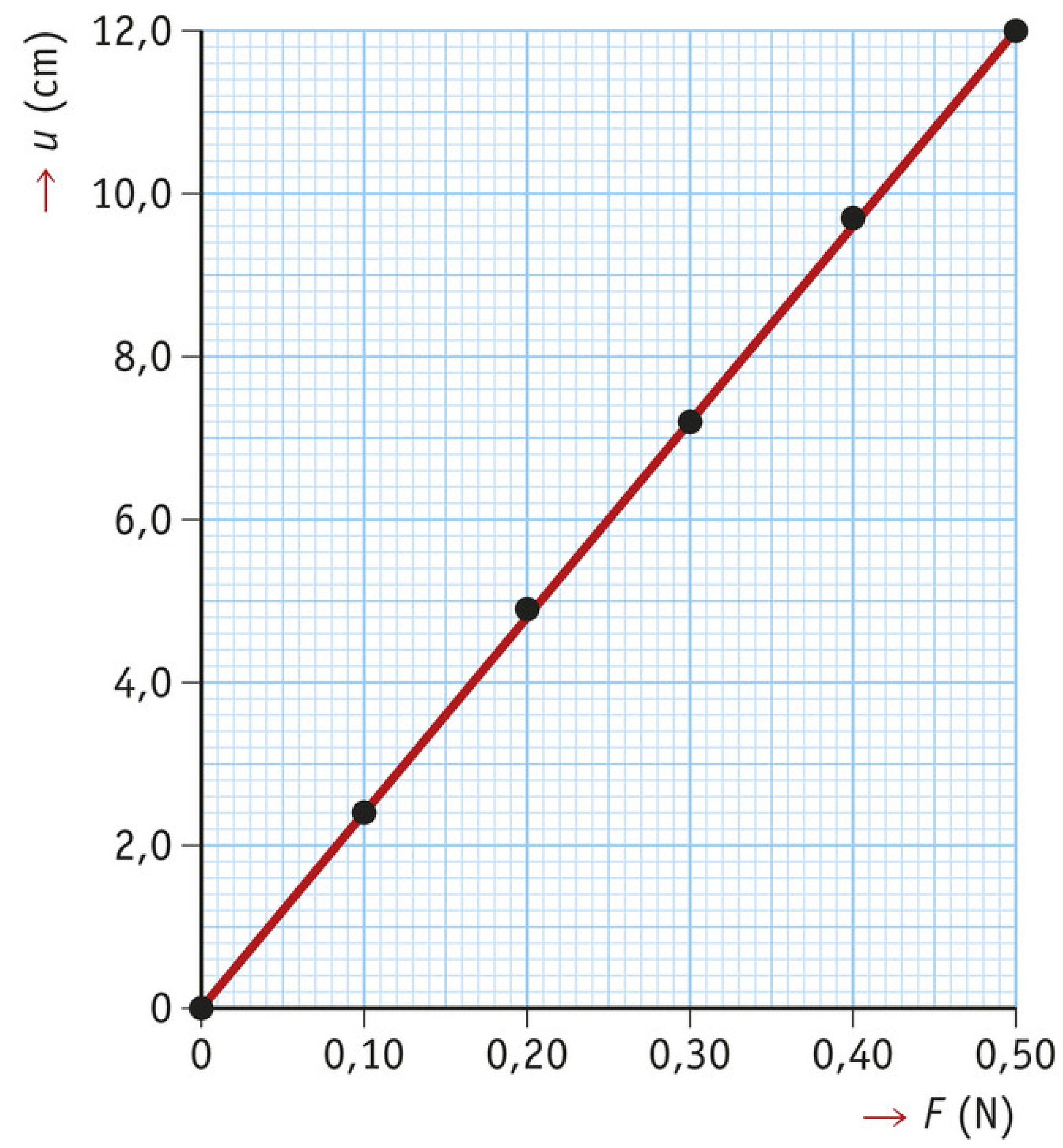
*Toelichting*
Als je de berekening uitvoert op een rekenmachine, krijg je als uitkomst 70,526316. Het gegeven $I$ = 1,9 mA heeft het kleinste aantal significante cijfers: twee. Je geeft het antwoord daarom ook in twee significante cijfers. Dus schrap je alle getallen na 70. Omdat het eerste cijfer dat je schrapt, een 5 is, verhoog je de 0 daarvoor met 1. De correct afgeronde uitkomst is dus 71 Ω.

# 7 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden.
Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
*Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?*
Deze vraag gaat over het verband tussen de kracht en de uitrekking.

Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je hangt gewichtjes aan de veer en meet elke keer hoe ver de veer daardoor uitrekt. De meetresultaten noteer je in een tabel. Na afloop geef je de meetresultaten in de tabel weer in een grafiek.

Zo'n grafiek maak je als volgt (figuur 3):




▶ **figuur 3**
een grafiek van de uitrekking tegen de kracht

- **Stap 1: Teken een assenstelsel.**
- **Stap 2: Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.**
  Bijvoorbeeld: → *F* (N) en → *u* (cm).
- **Stap 3: Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**
  Zorg ervoor dat de grootste getallen er nog op passen.
- **Stap 4: Teken de meetresultaten in als punten.**
- **Stap 5: Teken een rechte lijn als de punten (ongeveer) op een rechte lijn liggen.**
  Teken een vloeiende kromme, als dat niet zo is. Laat die lijn of kromme zo goed mogelijk bij de punten aansluiten, maar verbind de punten nooit één voor één met elkaar. Het geeft niet dat de rechte lijn of de kromme niet precies door alle meetpunten loopt.

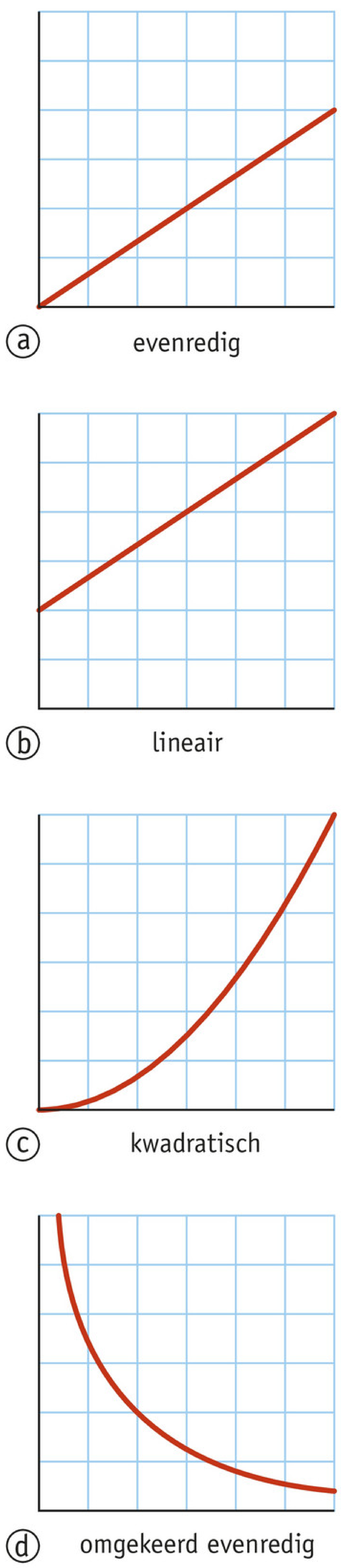
# 8 Verbanden meten

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden.
Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
*Wat is het verband tussen de uitrekking van een veer en de kracht die op de veer wordt uitgeoefend?*
Bij deze vraag zijn de grootheden de kracht (op de veer) en de uitrekking (van de veer).

Hoe meet je nu zo'n verband? Een paar aanwijzingen:

- **Stap 1: Maak eerst een tabel waarin je de meetresultaten kunt noteren.**
  Noteer links de kracht en rechts de uitrekking.
- **Stap 2: Kies voor de grootheid in de linker kolom een serie 'mooie' getallen.**
  Als je gewichtjes van 10 gram aan de spiraalveer hangt, krijgt de kracht bijvoorbeeld de volgende waarden (in N):
  0  0,1  0,2  0,3  0,4 enzovoort.
  Dat maakt het gemakkelijker om straks een grafiek te tekenen.
- **Stap 3: Noteer de meetwaarden in de tabel: links de kracht (in N), rechts de uitrekking (in cm).**
- **Stap 4: Verwerk je metingen tot een grafiek.**
  In vaardigheid 7 kun je lezen hoe dat moet. Zet de kracht langs de horizontale as en de uitrekking langs de verticale as.
- **Stap 5: Vergelijk jouw grafiek met figuur 4.**
  Daarin zie je hoe een grafiek eruitziet:
  a  als het verband evenredig is;
  b  als het verband lineair is;
  c  als het verband kwadratisch is;
  d  als het verband omgekeerd evenredig is.

Het $(u,F)$-diagram van een spiraalveer is een rechte lijn door de oorsprong (figuur 3). Daaraan zie je dat het verband tussen de uitrekking en de kracht bij een spiraalveer evenredig is.




**figuur 4**
vier soorten verbanden

# 9 Een ontwerp maken

Het maken van een ontwerp begint bij een probleem en eindigt met een goed werkende oplossing. Om bij zo'n oplossing uit te komen, ga je stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Het probleem analyseren**
  Om te beginnen ga je na wat nu precies het probleem is. Je vraagt aan de opdrachtgever hoe de situatie nu is en hoe die moet worden. Tot slot beschrijf je het probleem zo concreet mogelijk.

- **Stap 2: De ontwerpeisen formuleren**
  Je maakt een lijst met eisen waaraan de oplossing moet voldoen. Je let er goed op dat die eisen duidelijk en goed testbaar zijn. Je moet van elke eis kunnen nagaan of eraan wordt voldaan.

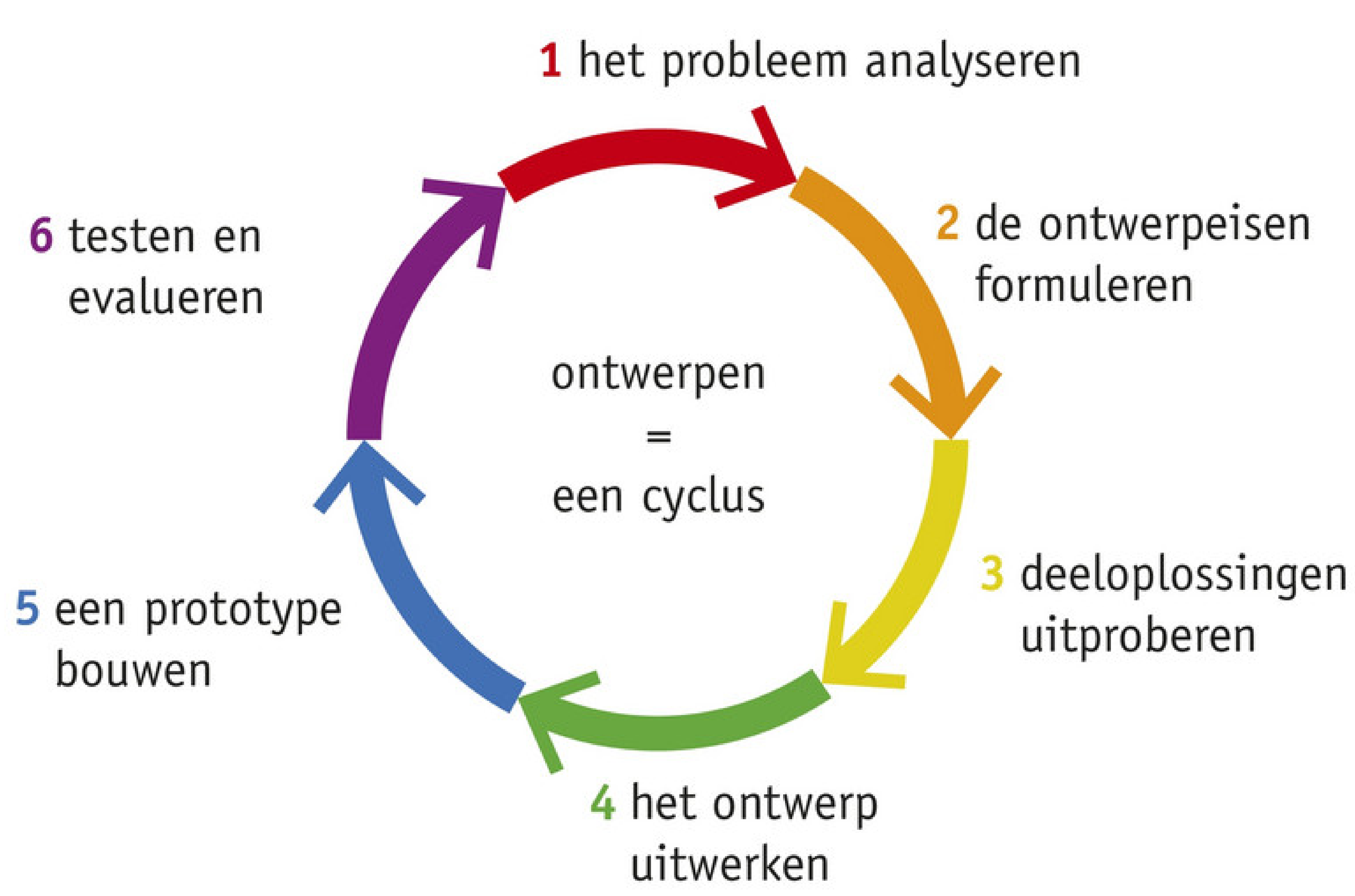
- **Stap 3: Deeloplossingen uitproberen**
  Meestal ontstaat een ontwerp niet in één keer. Je bedenkt eerst deeloplossingen voor deelproblemen en test of die goed werken. Op die manier houd je het ontwerpproces overzichtelijk.

- **Stap 4: Het ontwerp uitwerken**
  Als je voldoende informatie hebt over deeloplossingen, werk je een ontwerp uit dat aan alle ontwerpeisen voldoet. Je beschrijft het ontwerp duidelijk en volledig, met tekst en afbeeldingen.

- **Stap 5: Een prototype bouwen**
  Je bouwt een prototype of een model waarmee je het ontwerp kunt testen: een min of meer geïmproviseerde, maar volledig functionele versie van het ontwerp. Dat kan op ware grootte of op schaal.

- **Stap 6: Testen en evalueren**
  Ten slotte ga je testen of het ontwerp in de praktijk goed werkt. Je gaat zorgvuldig na of het aan alle ontwerpeisen voldoet. Als je problemen tegenkomt, zoek je daar een oplossing voor die je daarna ook weer uittest.

Vaak worden deze zes stappen meerdere malen geheel of gedeeltelijk doorlopen. Daarom worden ze ook wel aangeduid als de ontwerpcyclus (figuur 5).




◀ **figuur 5**
de ontwerpcyclus

# 10 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij geweest is, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd.

Deel je verslag als volgt in:

- **Titelpagina**
  Hierop vermeld je: de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in het onderzoeksgroepje, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

- **§ 1 Onderzoeksvraag**
  In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilde beantwoorden.

- **§ 2 Werkplan**
  Hierin staat:
  a welke grootheden je hebt gemeten;
  b welke practicumspullen je hebt gebruikt;
  c wat voor opstelling je hebt gemaakt (maak een tekening);
  d wat je precies hebt gedaan:
    - Welke metingen heb je uitgevoerd?
    - Hoe heb je de meetresultaten verwerkt (tekenen/berekenen)?
    - Welke berekeningen heb je uitgevoerd (inclusief formules)?

- **§ 3 Onderzoeksresultaten**
  Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

- **§ 4 Conclusies**
  Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag. Ook schrijf je op wat er beter had gekund.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet die inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren. Een aantal aanwijzingen:
- Gebruik papier op A4-formaat.
- Zorg ervoor dat er ruime marges overblijven: onder en boven, links en rechts.
- Kies een goed leesbaar lettertype, met een goede lettergrootte.
- Zet een vet kopje boven elke paragraaf. Sla daarna een regel over.
- Zorg voor nette tekeningen, tabellen en grafieken. Zet er een nummer bij zodat je ernaar kunt verwijzen.

# Register

# Colofon

**Auteurs:**
L. Lenders
F. Molin
R. Tromp

**Eindredactie:**
R. Tromp

**Met medewerking van:**
Th. Smits

**Ontwerp:**
Uitgeverij Malmberg, Den Bosch

**Ontwerp omslag:**
Buro De Kuijper in samenwerking met
Uitgeverij Malmberg

**Foto omslag:**
Shutterstock

**Openingsbeelden binnenwerk:**
Shutterstock, Istock, ANP foto, Rijswijk

**Beeldverwerving:**
B en U International Picture Service, Amsterdam

**Illustraties:**
Yde Bouma, Leusden
Marcel Braat/Zanzara Illustrations, Great Yarmouth
Erik Eshuis, Groningen

**Opmaak:**
Nieuwe Stijl, Den Haag

ISBN: 978 94 020 5821 5
Vierde editie, vierde oplage

MALMBERG

**Foto's:**
AAB.com, Fujian, China; Aeolus Art/Nationale Beeldbank; AFP Photo/Files; ANP Photo, Rijswijk; AP/ Reporters, Haarlem; Jan Boeve/Hollandse Hoogte; Bon Appetit/Alamy Images; Adrian Bradshaw/EPA/ANP; CNAM Paris/Lauros/Giraudon/Bridgeman Art Library, Londen, GB; Creola VZW; Daimler AG, Stuttgart, DL; Domunder.nl, Utrecht; Esa, Noordwijk; Fraunhofer ISE, Breisgau; Lisa Gagne/iStockphoto; Getty Images, Amsterdam; Patrik Giardino/Corbis; Go-green.nl, Leeuwarden; Hannay.com, New York, VS; Maarten Hartman/Hollandse Hoogte; Vincent van den Hoogen/ Hollandse Hoogte; Image Select, Wassenaar; infrarec. com, Reno, VS; iStock, New York, VS; Itani101/ Alamy; Johnson Space Center, Ton Koene/ANP Photo; Kleinehumboldtgalerie.de, Berlijn, DL; Michael Kooren/ Hollandse Hoogte; Lincolnelectric.com, Cleveland, VS; Robert Markowitz/NASA; Vincent Mentzel/Hollandse Hoogte; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam; NASA; Nasa/Corbis; Parr Instrument Company, Moline IL, USA; Nationale Beeldbank, Amsterdam; Nissan.nl; Tim Pope/ The Dow Chemical Company; Roger Ressmeyer/Corbis; Reuters, New York, VS; RGV Holding BV, Arnhem; Paul van Riel/Hollandse Hoogte; David Rozing/ Hollandse Hoogte; Pim Rusch Fotografie, Leiden; Scheepvaartmuseum, Amsterdam; Ruben Schipper/ ANP Photo; Science Photo Library/ANP Photo, Rijswijk; Peter J. Segaar - www.polderpv.nl; Kathryn Sheran/ChemMatters; Shutterstock, Amsterdam; SP, Amsterdam; Picture Aliance, Frankfurt; Peter Tamminga, Zwolle; TenneT TSO BV, Arnhem; Gerard Til/Hollandse Hoogte; Traser.com, Niederwangen, CH; Michael Urban/ANP Photo; Goos van der Veen/ Hollandse Hoogte; Vidiphoto/ANP Photo, Rijswijk; Arthur Vriend/Hollandse Hoogte; Tim De Waele, www. tdwsport.com, Ersange, Luxemburg; Herman Wouters/ Hollandse Hoogte; Ziut.nl, Arnhem.




- Dit boek is van jou.
- Je mag in dit boek schrijven en aantekeningen maken.
- Je hebt ook toegang tot de online leeromgeving.

**AUTEURS:**
L. Lenders
F. Molin
R. Tromp

**EINDREDACTIE:**
R. Tromp

**MET MEDEWERKING VAN:**
Th. Smits

ISBN 978 94 020 5821 5
589219

MALMBERG